

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年 1 1 月 2 8 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 3 4 5 2 7 4  
Application Number:

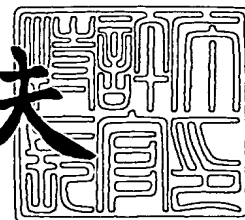
[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 2 - 3 4 5 2 7 4 ]

出 願 人                      本 田 技 研 工 業 株 式 有 限 公 司  
Applicant(s):

2 0 0 3 年    9 月 2 4 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 H102274301

【提出日】 平成14年11月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 F02D 41/14  
F02D 41/04  
F02D 45/00  
G05B 13/00

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

    【氏名】 安井 裕司

【発明者】

    【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

    【氏名】 水野 隆英

【特許出願人】

    【識別番号】 000005326

    【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100095566

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 高橋 友雄

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 059455

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

【物件名】	要約書	1
【プルーフの要否】	要	

【書類名】 明細書

【発明の名称】 内燃機関の空燃比制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の気筒に供給される燃料量を気筒毎に制御することにより、前記複数の気筒の各々に供給される混合気の空燃比を制御する内燃機関の空燃比制御装置であって、

前記各気筒に供給される燃料量を決定する燃料量決定手段と、

前記各気筒に供給される燃料量を補正するための補正パラメータを決定する補正パラメータ決定手段と、

当該決定された補正パラメータに応じて、前記決定された各気筒への燃料量を補正する第 1 燃料量補正手段と、

前記内燃機関の排気通路を流れる排気ガス中の空燃比を表す空燃比パラメータを検出する空燃比パラメータ検出手段と、

前記補正パラメータおよび前記空燃比パラメータを入出力とするモデルとして前記各気筒をモデル化し、当該モデルのモデルパラメータに基づき、前記複数の気筒間の空燃比のばらつきを表すばらつきパラメータを気筒毎に算出するばらつきパラメータ算出手段と、

前記決定された補正パラメータおよび前記検出された空燃比パラメータに応じて、前記モデルのモデルパラメータを同定する同定手段と、

前記気筒毎に算出されたばらつきパラメータが所定の目標値に収束するように、前記複数の気筒に供給される燃料量を気筒毎にさらに補正する第 2 燃料量補正手段と、

を備えることを特徴とする内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 2】 前記ばらつきパラメータの平均値を前記所定の目標値として設定する目標値設定手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 3】 前記補正パラメータ決定手段は、前記空燃比パラメータを所定の空燃比目標値に収束させるように、前記補正パラメータを決定することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 4】 前記補正パラメータ決定手段は、前記複数の気筒の 1 つをモデル化したモデルのモデルパラメータに基づいて、前記補正パラメータを決定し、

前記第 1 燃料量補正手段は、前記決定された補正パラメータに応じて、前記複数の気筒の全てに供給される燃料量を補正することを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 5】 前記第 2 燃料量補正手段は、I-P-D 制御アルゴリズムおよび I-P-D 制御アルゴリズムの一方に基づいて、前記燃料量の補正を実行することを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 6】 前記第 2 燃料量補正手段は、応答指定型制御アルゴリズムに基づいて、前記燃料量の補正を実行することを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 7】 複数の気筒に供給される燃料量を気筒毎に制御することにより、前記複数の気筒の各々に供給される混合気の空燃比を制御する内燃機関の空燃比制御装置であって、

前記内燃機関の運転状態を表す第 1 運転状態パラメータを検出する第 1 運転状態パラメータ検出手段と、

前記各気筒に供給される燃料量を決定する燃料量決定手段と、

前記複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正するためのばらつき補正係数を気筒毎に算出するばらつき補正係数算出手段と、

前記算出されたばらつき補正係数および前記検出された第 1 運転状態パラメータに応じて、前記ばらつき補正係数の学習値を気筒毎に算出する学習値算出手段と、

当該算出されたばらつき補正係数の学習値および前記算出されたばらつき補正係数に応じて、前記決定された各気筒への燃料量を補正する燃料量補正手段と、  
を備えることを特徴とする内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 8】 前記学習値算出手段は、前記ばらつき補正係数の学習値を、当該学習値を従属変数としかつ前記第 1 運転状態パラメータを独立変数とする回

帰式により算出するとともに、当該回帰式の回帰係数および定数項を、逐次型最小 2 乗法により算出することを特徴とする請求項 7 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 9】 前記内燃機関の運転状態を表す第 2 運転状態パラメータを検出する第 2 運転状態パラメータ検出手段をさらに備え、

前記学習値算出手段は、前記検出された第 2 運転状態パラメータが所定の範囲内にないときには、当該所定の範囲内にあるときに算出されたばらつき補正係数に応じて、前記ばらつき補正係数の前記学習値を気筒毎に算出することを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

【請求項 10】 前記内燃機関の運転環境を表す運転環境パラメータを検出する運転環境パラメータ検出手段をさらに備え、

前記学習値算出手段は、前記検出された運転環境パラメータが所定の範囲内にないときには、当該所定の範囲内にあるときに算出されたばらつき補正係数に応じて、前記ばらつき補正係数の前記学習値を気筒毎に算出することを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の内燃機関の空燃比制御装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、内燃機関の複数の気筒に供給される混合気の空燃比を気筒毎に制御する内燃機関の空燃比制御装置に関する。

#### 【0002】

#### 【従来の技術】

近年、内燃機関では、社会的な要請に起因して、良好な排気ガス特性すなわち良好な触媒浄化率を確保することが要求されている。一方、複数の気筒を有する内燃機関では、EGR 装置、蒸発燃料処理装置およびインジェクタなどの不具合に起因して、複数の気筒に供給される混合気の空燃比が気筒間でばらつくことがあり、その場合には、触媒浄化率の低下を招くおそれがある。したがって、従来、このような気筒毎の空燃比のばらつきを補正（吸収）する内燃機関の空燃比制御装置として、最適制御理論によるオブザーバを適用したものが知られている（

例えば、特許文献 1 参照)。この空燃比制御装置は、内燃機関の排気管の集合部に設けられ、排気ガス中の空燃比を検出する L A F センサと、この L A F センサの検出信号(検出空燃比)が入力される制御ユニットと、内燃機関の吸気管のインテークマニホールドに気筒毎に設けられ、制御ユニットに接続されたインジェクタなどを備えている。

#### 【0003】

この制御ユニットでは、L A F センサの検出空燃比に基づき、各インジェクタの燃料噴射量である気筒毎燃料噴射量  $\#n\text{ Tout}$  ( $n=1\sim 4$ ) を、以下のよう  
にオブザーバおよび P I D 制御を用いて算出することにより、内燃機関の各気筒に供給される混合気  
の空燃比のばらつきが補正される。

#### 【0004】

すなわち、制御ユニットは、内燃機関の運転状態に応じて、基本噴射量  $T i m$  を算出し、これに各種の補正係数を乗算することにより、出力噴射量  $T o u t$  を算出する。次いで、後述するように、オブザーバにより気筒毎の推定空燃比  $\#n A / F$  を推定し、P I D 制御により、気筒毎の推定空燃比  $\#n A / F$  に基づいて気筒毎フィードバック補正係数  $\#n K L A F$  をそれぞれ算出し、これらの気筒毎フィードバック補正係数  $\#n K L A F$  を出力噴射量  $T o u t$  に乗算することにより、気筒毎燃料噴射量  $\#n T o u t$  がそれぞれ算出される。

#### 【0005】

また、上記オブザーバでは、最適制御理論に基づいて気筒毎の推定空燃比  $\#n A / F$  が推定される。具体的には、気筒毎の燃空比および集合部(L A F センサの取り付け部)の燃空比の関係を表す離散時間系のモデルを用いることにより、気筒毎の推定空燃比  $\#n A / F$  が算出される。さらに、前記 P I D 制御では、集合部空燃比すなわち検出空燃比  $K A C T$  をフィードバック補正係数  $\#n K L A F$  の前回値の平均値で除算した値を目標値とし、この目標値とオブザーバにより推定された気筒毎の推定空燃比  $\#n A / F$  との偏差が値 0 に収束するように、気筒毎のフィードバック補正係数  $\#n K L A F$  が算出される。

#### 【0006】

#### 【特許文献 1】

特許第 3296472 号公報 (第 19～23 頁、図 35, 36)

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

近年、内燃機関では、前述した良好な排気ガス特性の要求とは別に、高出力・高トルク化が要求されており、これを達成するために、排気系レイアウトを複雑な形状（例えばエキゾーストマニホールドの排気通路が  $4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$  とその数を漸減しながら集合するような形状）とすることで、排気抵抗を減らす手法が知られている。しかし、そのような排気系レイアウトを有する内燃機関に従来の空燃比制御装置を適用した場合、従来の最適制御理論では、オブザーバが成立しなくなるため、気筒間の空燃比のばらつきを適切に補正することができず、触媒浄化率の低下を招くおそれがある。これは、従来の最適制御理論では、想定モデルおよび最適制御理論自体において、モデル化誤差およびモデルの動特性変化が考慮されていないため、オブザーバの安定余裕が小さく、ロバスト性が低いので、燃料付着などに起因する LAF センサの検出空燃比における各気筒の排気ガスの寄与度の変化、LAF センサの応答ばらつきおよび LAF センサの経年変化に対して安定性が不十分であることによる。

【0008】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、複雑な排気系レイアウトを有する場合においても、複数の気筒間の空燃比のばらつきを適切かつ迅速に補正でき、ロバスト性の高い空燃比制御を実現できる内燃機関の空燃比制御装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

この目的を達成するために、請求項 1 に係る発明は、複数の気筒（例えば実施形態における（以下、この項において同じ）1～4 番気筒 # 1～4）に供給される燃料量（最終燃料噴射量  $TOUT_i$ ）を気筒毎に制御することにより、複数の気筒の各々に供給される混合気の空燃比を制御する内燃機関 3 の空燃比制御装置 1 であって、各気筒に供給される燃料量を決定する燃料量決定手段（ECU 2、ステップ 2）と、各気筒に供給される燃料量を補正するための補正パラメータ（



フィードバック補正係数  $KSTR$ ) を決定する補正パラメータ決定手段 (ECU 2、STR 22、ステップ 7) と、決定された補正パラメータに応じて、決定された各気筒への燃料量を補正する第 1 燃料量補正手段 (ECU 2、ステップ 10) と、内燃機関の排気通路 (排気管 7) を流れる排気ガス中の空燃比を表す空燃比パラメータ (検出空燃比  $KACT$ ) を検出する空燃比パラメータ検出手段 (ECU 2、LAF センサ 14) と、補正パラメータ (フィードバック補正係数  $KSTR$ ) および空燃比パラメータ (検出空燃比  $KACT$ ) を入出力とするモデル [式 (1)] として各気筒をモデル化し、モデルのモデルパラメータ  $b_0$ ,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $s_0$  に基づき、複数の気筒間の空燃比のばらつきを表すばらつきパラメータ (ばらつき係数  $AFOFT_i$ ) を気筒毎に算出するばらつきパラメータ算出手段 (ECU 2、適応オブザーバ 23、ステップ 51) と、決定された補正パラメータおよび検出された空燃比パラメータに応じて、モデルのモデルパラメータを同定する同定手段 (ECU 2、オンボード同定器 22a、ステップ 25) と、気筒毎に算出されたばらつきパラメータ (ばらつき係数  $AFOFT_i$ ) が所定の目標値 (移動平均値  $AFOFT_{AVE}$ ) に収束するように、複数の気筒に供給される燃料量を気筒毎にさらに補正する第 2 燃料量補正手段 (ECU 2、ステップ 9, 10) と、を備えることを特徴とする。

#### 【0010】

この内燃機関の空燃比制御装置によれば、各気筒に供給される燃料量が、燃料量決定手段により決定され、第 1 燃料量補正手段により補正パラメータに応じて補正される。また、ばらつきパラメータ算出手段により、複数の気筒間の空燃比のばらつきを表すばらつきパラメータが、補正パラメータおよび空燃比パラメータを入出力とするモデルのモデルパラメータに基づき、気筒毎に算出されるとともに、第 2 燃料量補正手段により、気筒毎に算出されたばらつきパラメータが所定の目標値に収束するように、各気筒に供給される燃料量がさらに補正される。すなわち、複数の気筒間の空燃比のばらつきが補正されるように、燃料量が補正される。さらに、同定手段により、モデルのモデルパラメータが、決定された補正パラメータおよび検出された空燃比パラメータに応じて同定される。以上のように、各気筒に供給される燃料量を補正するためのばらつきパラメータが、補正

パラメータおよび空燃比パラメータに応じて同定されたモデルパラメータに基づいて算出されるので、例えば同定手段としてオンボード同定器を用いることにより、ばらつきパラメータを、リアルタイムで同定されたモデルパラメータに基づいて算出することができる。それにより、各気筒での燃料付着による空燃比パラメータへの各気筒の寄与度の変化、空燃比パラメータ検出手段における応答ばらつき、および空燃比パラメータ検出手段の経年変化などによって、制御対象の動特性が変化したときでも、従来と異なり、制御対象の動特性の変化をモデルに反映させながら、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正（吸収）するように燃料量を補正することができる。その結果、この空燃比制御装置を、複雑な排気レイアウトを有する内燃機関に適用した場合でも、ロバスト性の高い空燃比制御を実現することができ、良好な触媒浄化率を確保することができる。

#### 【0011】

請求項2に係る発明は、請求項1に記載の内燃機関3の空燃比制御装置1において、ばらつきパラメータの平均値（移動平均値A F O F T A V E）を所定の目標値として設定する目標値設定手段（E C U 2、ステップ52，53）をさらに備えることを特徴とする。

#### 【0012】

この内燃機関の空燃比制御装置によれば、目標値設定手段により、ばらつきパラメータの平均値が所定の目標値として設定されるので、第2燃料量補正手段により、ばらつきパラメータが発散することなく平均値に収束するように、各気筒への燃料量が補正される。このように、ばらつきパラメータがその平均値に収束するように、各気筒への燃料量が補正されるので、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正することができ、それにより、第1燃料量補正手段による燃料量の補正すなわち空燃比制御への干渉を回避しながら、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正することができる。同じ理由により、空燃比制御において、例えば他のフィードバック制御またはフィードフォワード制御が並行して実行された場合でも、それらの制御に対する干渉を回避しながら、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正することができる。

#### 【0013】

請求項 3 に係る発明は、請求項 1 または 2 に記載の内燃機関 3 の空燃比制御装置 1 において、補正パラメータ決定手段は、空燃比パラメータ（検出空燃比 K A C T）を所定の空燃比目標値（目標空燃比 K C M D）に収束させるように、補正パラメータ（フィードバック補正係数 K S T R）を決定することを特徴とする。

#### 【0014】

この内燃機関の空燃比制御装置によれば、補正パラメータ決定手段により、補正パラメータが、空燃比パラメータを所定の空燃比目標値に収束させるように決定され、第 1 燃料量補正手段により、この補正パラメータに応じて、各気筒への燃料量が補正される。すなわち、補正パラメータおよびばらつきパラメータが互いに別個に算出されるとともに、両パラメータに応じた燃料量の補正がそれぞれ、別個の燃料量補正手段により実行されるので、2 つの空燃比制御、すなわち複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正するための空燃比制御と、排気ガスの空燃比を所定の空燃比目標値に収束させるための空燃比制御とを、互いに干渉しないように実行できる。これにより、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正しながら、排気ガスの空燃比を所定の空燃比目標値に制御することができ、触媒浄化率を向上させることができる。

#### 【0015】

請求項 4 に係る発明は、請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の内燃機関 3 の空燃比制御装置 1 において、補正パラメータ決定手段は、複数の気筒の 1 つ（1 番気筒 # 1）をモデル化したモデルのモデルパラメータに基づいて、補正パラメータ（フィードバック補正係数 K S T R）を決定し（ステップ 7）、第 1 燃料量補正手段は、決定された補正パラメータに応じて、複数の気筒の全てに供給される燃料量を補正する（ステップ 10）ことを特徴とする。

#### 【0016】

この内燃機関の空燃比制御装置によれば、補正パラメータ決定手段により、補正パラメータが、複数の気筒の 1 つをモデル化したモデルのモデルパラメータに基づいて決定され、第 1 燃料量補正手段により、決定された補正パラメータに応じて、複数の気筒の全てに供給される燃料量が補正されるので、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正するための燃料量の補正に干渉することなく、全気筒へ

の燃料量を補正することができる。また、前述したように、このモデルパラメータは、同定手段により同定されるので、例えば同定手段としてオンボード同定器を用いることにより、補正パラメータを、リアルタイムで同定されたモデルパラメータに基づいて算出することができる。それにより、各気筒での燃料付着による空燃比パラメータへの各気筒の寄与度の変化、空燃比パラメータ検出手段における応答ばらつき、および空燃比パラメータ検出手段の経年変化などによって、制御対象の動特性が変化したときでも、制御対象の動特性の変化をモデルに反映させながら、全気筒への燃料量を補正することができ、空燃比制御のロバスト性をさらに高めることができる。

#### 【0017】

請求項5に係る発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載の内燃機関3の空燃比制御装置1において、第2燃料量補正手段は、I-P-D制御アルゴリズム〔式(32)、(33)〕およびI-P-D制御アルゴリズム〔式(45)、(46)〕の一方に基づいて、燃料量の補正を実行することを特徴とする。

#### 【0018】

この内燃機関の空燃比制御装置によれば、第2燃料量補正手段により、燃料量の補正が、I-P-D制御アルゴリズムまたはI-P-D制御アルゴリズムに基づいて実行されるので、燃料量の補正において、目標値に対するオーバーシュートが発生しないように、補正量を算出できる。これにより、各気筒の空燃比の挙動が振動的になるのを回避しながら、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正することができ、空燃比制御の安定性を高めることができる。

#### 【0019】

請求項6に係る発明は、請求項1ないし4のいずれかに記載の内燃機関3の空燃比制御装置1において、第2燃料量補正手段は、応答指定型制御アルゴリズム〔式(47)～(49)〕に基づいて、燃料量の補正を実行することを特徴とする。

#### 【0020】

この内燃機関の空燃比制御装置によれば、第2燃料量補正手段により、燃料量の補正が、応答指定型アルゴリズムに基づいて実行されるので、燃料量の補正に

において、目標値に対するオーバーシュートが発生しないように、かつ指定した収束挙動で気筒間の空燃比のばらつきが収束するように、補正量を算出できる。これにより、各気筒の空燃比の挙動が振動的になるのを回避しながら、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正することができ、空燃比制御の安定性を高めることができる。

#### 【0021】

請求項7に係る発明は、複数の気筒（1～4番気筒#1～#4）に供給される燃料量（最終燃料噴射量 $TOUT_i$ ）を気筒毎に制御することにより、複数の気筒の各々に供給される混合気の空燃比を制御する内燃機関3の空燃比制御装置1であって、内燃機関3の運転状態を表す第1運転状態パラメータ（排気ガスボリューム $ESV$ ）を検出する第1運転状態パラメータ検出手段（ECU2、吸気管内絶対圧センサ11、クランク角センサ13）と、各気筒に供給される燃料量を決定する燃料量決定手段（ECU2、ステップ2）と、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正するためのばらつき補正係数 $KAFOT_i$ を気筒毎に算出するばらつき補正係数算出手段（ECU2、適応オブザーバ23、ステップ8）と、算出されたばらつき補正係数 $KAFOT_i$ および検出された第1運転状態パラメータ（排気ガスボリューム $ESV$ ）に応じて、ばらつき補正係数の学習値 $KAFOT\_LS_i$ を気筒毎に算出する学習値算出手段（ECU2、適応オブザーバ23、ステップ9）と、算出されたばらつき補正係数の学習値 $KAFOT\_LS_i$ および算出されたばらつき補正係数 $KAFOT_i$ に応じて、決定された各気筒への燃料量を補正する燃料量補正手段（ECU2、ステップ10）と、を備えることを特徴とする。

#### 【0022】

この内燃機関の空燃比制御装置によれば、第1運転状態パラメータ検出手段により、内燃機関の運転状態を表す第1運転状態パラメータが検出され、燃料量決定手段により、各気筒に供給される燃料量が決定され、ばらつき補正係数算出手段により、複数の気筒間の空燃比のばらつきを補正するためのばらつき補正係数が気筒毎に算出される。さらに、学習値算出手段により、算出されたばらつき補正係数および検出された第1運転状態パラメータに応じて、ばらつき補正係数の

学習値が算出され、燃料量補正手段により、算出されたばらつき補正係数の学習値および算出されたばらつき補正係数に応じて、各気筒への燃料量が補正される。以上のように、第1運転状態パラメータに応じて算出されたばらつき補正係数の学習値に基づいて、各気筒への燃料量が補正されるので、複数の気筒間の空燃比のばらつき状態が、内燃機関の運転状態の変化に伴って変化したときでも、それに応じて各気筒への燃料量を補正することができる。それにより、内燃機関が過渡運転状態にあるときでも、複数の気筒間の空燃比のばらつき状態の変化を補償しながら空燃比を制御することができ、排気ガス浄化率を良好な状態に保持できる。

### 【0023】

請求項8に係る発明は、請求項7に記載の内燃機関3の空燃比制御装置1において、学習値算出手段は、ばらつき補正係数の学習値を、学習値を従属変数としかつ第1運転状態パラメータを独立変数とする回帰式〔式(43)〕により算出するとともに、回帰式の回帰係数 $A_{AFOT\_LS_i}$ および定数項 $B_{AFOT\_LS_i}$ を、逐次型最小2乗法〔式(36)～(42)〕により算出する(ステップ64～69)ことを特徴とする。

### 【0024】

この内燃機関の空燃比制御装置によれば、学習値算出手段により、ばらつき補正係数の学習値が、学習値を従属変数としかつ第1運転状態パラメータを独立変数とする回帰式により算出されるとともに、この回帰式の回帰係数および定数項が、逐次型最小2乗法により算出される。このように、学習値の算出に用いる回帰式の回帰係数および定数項が、逐次型最小2乗法により算出されるので、ばらつき補正係数の学習値を、ばらつき補正係数との誤差が小さくなるように算出することができ、学習値の算出精度を高めることができるとともに、内燃機関の運転状態が変化するとき、すなわち制御対象の動特性が変化するときでも、それを反映しながら複数の気筒間の空燃比のばらつきをより適切に補正することができる。また、複数の気筒分の学習値を算出しなければならないので、例えば学習値の算出法として最小2乗法を用いた場合には、逆行列演算や多数のデータを記憶する必要性が生じてしまうのに対して、本発明の場合には、逐次型最小2乗法を

用いるので、逆行列演算や多数のデータの記憶を行うことなく、逐次算出されたデータを用いて、学習値を算出することができ、その分、学習値の演算時間を短縮することができる。その結果、車載コンピュータなどの比較的、演算能力の低い演算装置を用いながら、以上の作用効果を得ることができる。

#### 【0025】

請求項9に係る発明は、請求項7または8に記載の内燃機関3の空燃比制御装置1において、内燃機関3の運転状態を表す第2運転状態パラメータ（吸気管内絶対圧PBA、エンジン水温TW、エンジン回転数NE）を検出する第2運転状態パラメータ検出手段（ECU2、吸気管内絶対圧センサ11、水温センサ12、クランク角センサ13）をさらに備え、学習値算出手段は、検出された第2運転状態パラメータが所定の範囲（ $TW_{AOF L} < TW < TW_{AOF H}$ ,  $NE_{AOF L} < NE < NE_{AOF H}$ ,  $PB_{AOF L} < PBA < PB_{AOF H}$ ）内にあるときに算出されたばらつき補正係数 $K_{A F O F T_i}$ に応じて、ばらつき補正係数の学習値 $K_{A F O F T\_L S_i}$ を気筒毎に算出する（ステップ60～62, 70）ことを特徴とする。

#### 【0026】

一般に、本発明のばらつき補正係数のような、空燃比のばらつきを表すパラメータの場合、内燃機関が極高負荷運転などの不安定な運転状態にあるときには、その影響を受けることで、算出結果がばらつくことがある。また、極低負荷運転状態のときにおいても、例えば空燃比を検出するセンサの計測精度が低下することにより、算出結果の精度が低下することがある。さらに、高回転運転中には、空燃比のばらつきによって生じる空燃比の周波数が高周波となるため、ばらつき状態の算出精度が低下することがある。以上のように、ばらつき補正係数の適切な算出値が得られなくなるおそれがある。これに対して、この空燃比制御装置では、第2運転状態パラメータが所定の範囲内にあるときには、所定の範囲内にあるときに算出されたばらつき補正係数に応じて、ばらつき補正係数の学習値が算出されるので、この所定の範囲を適切に設定することにより、内燃機関が不安定な運転状態にあるときでも、内燃機関が安定した運転状態にあるときのばらつき補正係数に応じて、学習値を適切に算出できる。その結果、不安定な運転状態の

影響を回避しながら、複数の気筒間の空燃比のばらつきを適切に補正することができ、空燃比制御の安定性を向上させることができるとともに、触媒浄化率を良好な状態に保持できる。

#### 【0027】

請求項10に係る発明は、請求項7または8に記載の内燃機関3の空燃比制御装置1において、内燃機関3の運転環境を表す運転環境パラメータ（吸気温度 $T_A$ 、車速 $V_P$ ）を検出する運転環境パラメータ検出手段（ECU2、吸気温度センサ18、車速センサ19）をさらに備え、学習値算出手段は、検出された運転環境パラメータが所定の範囲（ $T_{AOF\text{L}} < T_A < T_{AOF\text{H}}$ ,  $V_{PAOF\text{L}} < V_P < V_{PAOF\text{H}}$ ）内にあるとき（ステップ63の判別結果がNOのとき）には、所定の範囲内にあるときに算出されたばらつき補正係数 $K_{AFOFT_i}$ に応じて、ばらつき補正係数の学習値 $K_{AFOFT\_LS_i}$ を気筒毎に算出する（ステップ60～62, 70）ことを特徴とする。

#### 【0028】

一般に、本発明のばらつき補正係数のような、空燃比のばらつきを表すパラメータの場合、内燃機関の運転環境が不安定な運転状態を引き起こすような極端な状態にあるとき、例えば外気が極低温であるときには、内燃機関の運転状態が不安定になることで、ひいては算出結果がばらつき、適切なパラメータ値が得られなくなるおそれがある。これに対して、この空燃比制御装置では、運転環境パラメータが所定の範囲内にあるときには、所定の範囲内にあるときに算出されたばらつき補正係数に応じて、ばらつき補正係数の学習値が算出されるので、この所定の範囲を適切に設定することにより、内燃機関の不安定な運転状態を引き起こすような運転環境にあるときでも、内燃機関が安定した運転状態となる動作環境のときのばらつき補正係数に応じて、学習値を適切に算出できる。その結果、運転環境の悪影響を回避しながら、複数の気筒間の空燃比のばらつきを適切に補正することができ、空燃比制御の安定性を向上させることができるとともに、触媒浄化率を良好な状態に保持できる。

#### 【0029】

#### 【発明の実施の形態】



以下、図面を参照しながら、本発明の一実施形態に係る内燃機関の空燃比制御装置について説明する。図1は、本実施形態の空燃比制御装置1およびこれを適用した内燃機関3の概略構成を示している。同図に示すように、この空燃比制御装置1は、ECU2を備えており、このECU2は、後述するように、内燃機関（以下「エンジン」という）3の運転状態に応じて、これに供給する燃料量を制御することにより、混合気の空燃比を制御する。

#### 【0030】

このエンジン3は、図示しない車両に搭載された直列4気筒型ガソリンエンジンであり、1～4番気筒#1～#4（複数の気筒）を備えている。このエンジン3の吸気管4のスロットル弁5の近傍には、例えばポテンショメータなどで構成されたスロットル弁開度センサ10が設けられている。このスロットル弁開度センサ10は、スロットル弁5の開度（以下「スロットル弁開度」という）THを検出して、その検出信号をECU2に送る。

#### 【0031】

さらに、吸気管4のスロットル弁5よりも下流側には、吸気管内絶対圧センサ11が設けられている。この吸気管内絶対圧センサ11（第1および第2運転状態パラメータ検出手段）は、例えば半導体圧力センサなどで構成され、吸気管4内の吸気管内絶対圧PBA（第2運転状態パラメータ）を検出し、その検出信号をECU2に出力する。

#### 【0032】

また、吸気管4は、インテークマニホールド4aの4つの分岐部4bを介して4つの気筒#1～#4にそれぞれ接続されている。各分岐部4bには、各気筒の図示しない吸気ポートの上流側に、インジェクタ6が取り付けられている。各インジェクタ6は、エンジン3の運転時に、ECU2からの駆動信号によって、その開弁時間である燃料噴射量および噴射タイミングが制御される。

#### 【0033】

一方、エンジン3の本体には、例えばサーミスタなどで構成された水温センサ12（第2運転状態パラメータ検出手段）が取り付けられている。水温センサ12は、エンジン3のシリンダブロック内を循環する冷却水の温度であるエンジン

水温TW（第2運転状態パラメータ）を検出し、その検出信号をECU2に出力する。

#### 【0034】

また、エンジン3のクランクシャフト（図示せず）には、クランク角センサ13（第1および第2運転状態パラメータ検出手段）が設けられている。このクランク角センサ13は、クランクシャフトの回転に伴い、いずれもパルス信号であるCRK信号およびTDC信号をECU2に出力する。

#### 【0035】

CRK信号は、所定のクランク角（例えば30°）ごとに1パルスが出力される。ECU2は、このCRK信号に応じ、エンジン3の回転数（以下「エンジン回転数」という）NEを算出する。本実施形態では、このエンジン回転数NEは第2運転状態パラメータに相当する。また、TDC信号は、各気筒のピストン（図示せず）が吸気行程のTDC位置よりも若干、手前の所定のクランク角位置にあることを表す信号であり、所定クランク角ごとに1パルスが出力される。

#### 【0036】

一方、排気管7（排気通路）のエキゾーストマニホールド7aは、4つの気筒#1～#4からそれぞれ延びる4つの排気管部が4→2→1の順に集合する形状を有している。すなわち、エキゾーストマニホールド7aでは、1番および4番気筒#1、#4から延びる2つ排気管部が1つに集合した集合部7bと、2番および3番気筒#2、#3から延びる排気管部が1つに集合した集合部7cと、これらの集合部7b、7cが1つに集合した集合部7dとが一体に構成されている。このような形状により、エキゾーストマニホールド7aは、その排気抵抗が、4つの排気管部が4→1の順に集合する通常のエキゾーストマニホールドよりも小さい値に設定されており、これにより、エンジン3は、通常のエキゾーストマニホールドを有するものと比較して、より高い出力およびトルクを発生するように構成されている。

#### 【0037】

この排気管7のエキゾーストマニホールド7aの集合部7dよりも下流側には、上流側から順に第1および第2の触媒装置8a、8bが間隔を存して設けられ

ている。各触媒装置 8 は、 $\text{NO}_x$  触媒と 3 元触媒を組み合わせたものであり、この  $\text{NO}_x$  触媒は、図示しないが、イリジウム触媒（イリジウムを担持した炭化ケイ素ウイスカ粉末とシリカの焼成体）をハニカム構造の基材の表面に被覆し、その上にペロブスカイト型複酸化物（ $\text{LaCoO}_3$  粉末とシリカの焼成体）をさらに被覆したものである。触媒装置 8 は、 $\text{NO}_x$  触媒による酸化還元作用により、リーンバーン運転時の排気ガス中の  $\text{NO}_x$  を浄化するとともに、3 元触媒の酸化還元作用により、リーンバーン運転以外の運転時の排気ガス中の  $\text{CO}$ 、 $\text{HC}$  および  $\text{NO}_x$  を浄化する。

#### 【0038】

これらの第 1 および第 2 触媒装置 8 a, 8 b の間には、酸素濃度センサ（以下「 $\text{O}_2$  センサ」という）15 が取り付けられている。この  $\text{O}_2$  センサ 15 は、ジルコニアおよび白金電極などで構成され、第 1 触媒装置 8 a の下流側の排気ガス中の酸素濃度に基づく出力  $V_{out}$  を ECU 2 に送る。この  $\text{O}_2$  センサ 15 の出力  $V_{out}$  は、理論空燃比よりもリッチな混合気が燃焼したときには、ハイレベルの電圧値（例えば 0.8 V）となり、混合気がリーンのときには、ローレベルの電圧値（例えば 0.2 V）となるとともに、混合気が理論空燃比付近のときには、ハイレベルとローレベルの間の所定の目標値  $V_{op}$ （例えば 0.6 V）となる。

#### 【0039】

また、第 1 触媒装置 8 a よりも上流側のエキゾーストマニホールド 7 a の集合部 7 d 付近には、LAF センサ 14（空燃比パラメータ検出手段）が取り付けられている。この LAF センサ 14 は、 $\text{O}_2$  センサ 15 と同様のセンサとリニアライザなどの検出回路とを組み合わせることによって構成されており、リッチ領域からリーン領域までの広範囲な空燃比の領域において排気ガス中の酸素濃度をリニアに検出し、その酸素濃度に比例する出力を ECU 2 に送る。ECU 2 は、この LAF センサ 14 の出力に基づき、集合部 7 d 付近の排気ガス中の空燃比を表す検出空燃比  $K_{ACT}$ （空燃比パラメータ）を算出する。なお、この検出空燃比  $K_{ACT}$  は、具体的には当量比として算出される。

#### 【0040】

さらに、ECU2には、アクセル開度センサ16、大気圧センサ17、吸気温センサ18および車速センサ19などが接続されている。このアクセル開度センサ16は、車両の図示しないアクセルペダルの踏み込み量（以下「アクセル開度」という）APを検出し、その検出信号をECU2に出力する。また、大気圧センサ17、吸気温センサ18および車速センサ19はそれぞれ、大気圧PA、吸気温TAおよび車速VPを検出し、その検出信号をECU2に出力する。なお、本実施形態では、吸気温センサ18および車速センサ19が運転環境パラメータ検出手段に相当し、吸気温TAおよび車速VPが運転環境パラメータに相当する。

#### 【0041】

次に、ECU2について説明する。このECU2は、I/Oインターフェース、CPU、RAMおよびROMなどからなるマイクロコンピュータで構成されており、前述した各種のセンサ10～19の出力に応じて、エンジン3の運転状態を判別するとともに、ROMに予め記憶された制御プログラムやRAMに記憶されたデータなどに従って、後述する空燃比制御処理を実行することにより、目標空燃比KCMD（空燃比目標値）、フィードバック補正係数KSTR、ばらつき補正係数KAFOFT<sub>i</sub>およびその学習値KAFOFT\_\_LS<sub>i</sub>を算出する。さらに、後述するように、これらのKCMD、KSTR、KAFOFT<sub>i</sub>およびKAFOFT\_\_LS<sub>i</sub>の算出値などに基づいて、気筒毎のインジェクタ6の最終燃料噴射量TOUT<sub>i</sub>を算出し、この算出した最終燃料噴射量TOUT<sub>i</sub>に基づいた駆動信号で、インジェクタ6を駆動することにより、混合気の空燃比を気筒毎に制御する。なお、この最終燃料噴射量TOUT<sub>i</sub>における添字「i」は、気筒の番号を表す気筒番号値であり（i = 1～4）、この点は、上記ばらつき補正係数KAFOFT<sub>i</sub>、学習値KAFOFT\_\_LS<sub>i</sub>および後述する各パラメータなどにおいても、同様である。

#### 【0042】

なお、本実施形態では、ECU2により、燃料量決定手段、補正パラメータ決定手段、第1燃料量補正手段、空燃比パラメータ検出手段、ばらつきパラメータ算出手段、同定手段、第2燃料量補正手段、目標値設定手段、第1運転状態パラ

メータ検出手段、ばらつき補正係数算出手段、学習値算出手段、燃料量補正手段、第2運転状態パラメータ検出手段および運転環境パラメータ検出手段が構成されている。

#### 【0043】

図2に示すように、空燃比制御装置1は、基本燃料噴射量算出部21、STR (Self Tuning Regulator) 22、適応オブザーバ23および付着補正部24などを備えており、これらはいずれも、具体的には、ECU2により構成されている。この空燃比制御装置1では、基本燃料噴射量算出部21により、基本燃料噴射量 $TIBS_i$ が、エンジン回転数 $NE$ および吸気管内絶対圧 $PBA$ に応じて、図示しないマップを検索することにより算出される。

#### 【0044】

また、後述するように、STR22により、フィードバック補正係数 $KSTR$ が算出され、適応オブザーバ23により、気筒毎のばらつき補正係数 $KAFOF T_i$ および学習値 $KAFOF T\_LS_i$ がそれぞれ算出される。そして、前記基本燃料噴射量 $TIBS_i$ に、補正目標空燃比 $KCMDM$ 、総補正係数 $KTOTAL$ 、フィードバック補正係数 $KSTR$ 、ばらつき補正係数 $KAFOF T_i$ 、および学習値 $KAFOF T\_LS_i$ がそれぞれ乗算されることにより、気筒毎の要求燃料噴射量 $TCYL_i$ が算出される。次いで、付着補正部24により、気筒毎の最終燃料噴射量 $TOUT_i$ が、気筒毎の要求燃料噴射量 $TCYL_i$ に基づいて算出される。

#### 【0045】

次に、上記STR22（補正パラメータ決定手段）について説明すると、このSTR22は、オンボード同定器22a（同定手段）およびSTRコントローラ22bで構成されている。このSTR22では、以下に述べるアルゴリズムにより、オンボード同定器22aでモデルパラメータベクトル $\theta_i$ が同定されるとともに、STRコントローラ22bでフィードバック補正係数 $KSTR$ （補正パラメータ）が算出される。

#### 【0046】

まず、1～4番気筒#1～#4を、対応する気筒へのフィードバック補正係数

$KSTR_i$ を入力とし、検出空燃比 $KACT$ を出力とする制御対象として見なすとともに、これらの制御対象を離散時間系モデルとしてモデリングすると、図3に示す式(1)のようになる。同式(1)において、記号 $k$ は離散化した時間を表しており、記号 $(k)$ 付きの各離散データは、1 燃焼サイクル毎すなわちのTDC信号が連続して4回発生する毎にサンプリングされたデータであることを示している。この点は、以下の離散データ(時系列データ)においても同様である。

#### 【0047】

ここで、目標空燃比 $KCMD$ に対する検出空燃比 $KACT$ のむだ時間は、燃焼サイクル3回分程度と推定されるので、 $KCMD(k) = KACT(k+3)$ の関係が成立し、これを式(1)に適用すると、図3の式(2)が導出される。

#### 【0048】

また、式(1)のモデルパラメータ $b_{0i}(k)$ ,  $r_{1i}(k)$ ,  $r_{2i}(k)$ ,  $r_{3i}(k)$ ,  $s_{0i}(k)$ のベクトル $\theta_i(k)$ は、図3に示す式(3)～(9)の同定アルゴリズムにより同定される。同式(3)における $KP_i(k)$ はゲイン係数のベクトルを、 $ide_i(k)$ は同定誤差をそれぞれ表している。また、式(4)における $\theta_i(k)^T$ は、 $\theta_i(k)$ の転置行列を表している。なお、以下の説明では、「ベクトル」という表記を適宜、省略する。

#### 【0049】

上記式(3)の同定誤差 $ide_i(k)$ は、図3の式(5)～(7)により算出され、式(6)の $KACTHAT_i(k)$ は、検出空燃比 $KACT$ の同定値を表している。さらに、上記ゲイン係数のベクトル $KP_i(k)$ は、図3の式(8)により算出され、この式(8)の $P_i(k)$ は、図3の式(9)で定義される5次の正方行列である。

#### 【0050】

以上の式(2)～(9)のアルゴリズムにより、気筒毎のフィードバック補正係数 $KSTR_i(k)$ を算出し、それに基づいて気筒間の空燃比のばらつきを補正するように、空燃比制御を実行した場合、エンジン3がクルーズ状態のときには、気筒毎のフィードバック補正係数 $KSTR_i(k)$ がドリフトし、制御系が

不安定になることがあり、触媒浄化率の低下および燃焼変動を招くおそれがある。これは、以下の理由による。すなわち、例えば1番気筒#1用のフィードバック補正係数 $KSTR_1(k)$ を算出し、これにより燃料噴射量を補正すると、他の気筒で演算に用いる検出空燃比 $KACT(k)$ には影響を及ぼすけれども、他の気筒用のフィードバック補正係数 $KSTR_{2-4}(k)$ の演算には、影響を及ぼすことがない。そのため、気筒毎に、フィードバック補正係数 $KSTR$ をハイゲイン状態で算出すると、モデルパラメータベクトル $\theta_i(k)$ の誤同定が発生することにより、フィードバック補正係数 $KSTR$ がドリフトし、制御系が不安定になってしまう。したがって、本実施形態の $STR_{22}$ では、気筒間の空燃比のばらつきを補正するためではなく、検出空燃比 $KACT$ を目標空燃比 $KCMD$ に一致させるために、以下のように、フィードバック補正係数 $KSTR$ を算出する。

#### 【0051】

すなわち、本実施形態の $STR$ コントローラ22bでは、オンボード同定器22aにより同定された1番気筒#1のモデルパラメータベクトル $\theta_1$ を、TDC信号の発生タイミングに同期してオーバーサンプリングするとともに、その移動平均値 $\theta_{ave}$ を算出する。具体的には、モデルパラメータベクトル $\theta_1$ の移動平均値 $\theta_{ave}(n)$ を、図4の式(10)により算出するとともに、これを用いて、図4の式(12)により、フィードバック補正係数 $KSTR(n)$ を算出する。なお、式(10)における $\theta_{buf}$ は、1番気筒#1のモデルパラメータベクトル $\theta_1$ のオーバーサンプリング値を示しており、移動平均値 $\theta_{ave}(n)$ は、図4の式(11)のように規定される。これらの式(10)～(12)において、記号 $n$ は、離散化した時間を表しており、記号 $(n)$ 付きの各離散データは、TDC信号が1回発生する毎に、これに同期してサンプリングされたデータであることを示している。この点は、以下の離散データにおいても同様である。したがって、 $k-f=n-4 \cdot f$  ( $f$ :整数)の関係が成立するので、これを図3の式(2)に適用すると、上記式(12)が導出される。

#### 【0052】

また、式(10)の $m$ は、所定の整数であり、本実施形態では、 $m=11$ に設

定される。これは、以下の理由による。すなわち、前述したように、目標空燃比  $K_{CMD}$  に対する検出空燃比  $K_{ACT}$  のむだ時間は、燃焼サイクル 3 回分であるため、モデルパラメータベクトル  $\theta$  の更新によって起こる制御系の共振周期も、3 サイクルとなる。したがって、このような制御系の共振を抑制するフィルタとしては、くし型の阻止帯域を 3 サイクル周期で備える 12 タップの移動平均値フィルタが最適であるので、上記のように  $m = 11$  と設定される。

#### 【0053】

また、モデルパラメータベクトル  $\theta_i(k)$  を同定する同定アルゴリズムは、図 4 の式 (13) ~ (19) のようになる。しかし、この同定アルゴリズムにより、モデルパラメータベクトル  $\theta_i(k)$  を同定すると、ECU 2 の CPU の演算負荷が大きくなってしまうので、それを回避するために、本実施形態のオンボード同定器 22a では、図 5 の式 (20) ~ (26) に示す固定ゲイン法の同定アルゴリズムにより、モデルパラメータベクトル  $\theta_i(k)$  を同定する。なお、図 5 の式 (20) において、 $\sigma f$  は式 (24) のように定義される忘却ベクトルであり、式 (25) において、 $P f$  は同定ゲイン (固定ゲイン) である。この忘却ベクトル  $\sigma f$  は、クルーズ走行中などのエンジン 3 の負荷がほぼ一定状態のときには、モデルパラメータのドリフトが生じることがあるので、それを回避するために用いられる。

#### 【0054】

以上のように、本実施形態の STR 22 のオンボード同定器 22a では、図 5 の式 (20) ~ (26) に示す同定アルゴリズムによって、モデルパラメータベクトル  $\theta_i(k)$  が同定され、STR コントローラ 22b では、図 4 の式 (10) ~ (12) により、フィードバック補正係数  $K_{STR}(n)$  が算出される。

#### 【0055】

次に、前記適応オブザーバ 23 (ばらつきパラメータ算出手段、ばらつき補正係数算出手段、学習値算出手段) について説明すると、この適応オブザーバ 23 は、上記オンボード同定器 22a、ばらつき補正係数算出部 23a、学習値算出部 23b および乗算部 23c で構成されている。この適応オブザーバ 23 では、以下に述べるアルゴリズムにより、ばらつき補正係数算出部 23a で気筒毎のば



らつき補正係数  $KAF OF T_i$  が算出され、学習値算出部 23b でばらつき補正係数の学習値  $KAF OF T\_L S_i$  が算出される。さらに、乗算部 23c により、ばらつき補正係数  $KAF OF T_1 \sim KAF OF T_4$  に、学習値  $KAF OF T\_L S_1 \sim KAF OF T\_L S_4$  がそれぞれ乗算される。

#### 【0056】

まず、ばらつき補正係数算出部 23a における、気筒毎のばらつき補正係数  $KAF OF T_i$  を算出するアルゴリズムについて説明する。前述した図 3 の式 (1) に示すモデルにおいて、 $KACT$  が定常状態の値  $KACT'$  になっており、 $KSTR$  も一定値  $KSTR'$  となっていると仮定すると、図 6 の式 (27) が成立する。この式 (27) を  $KACT'$  および  $KSTR'$  について整理すると、図 6 の式 (28) が得られ、これを変形すると、図 6 の式 (29) が得られる。この式 (29) において、右辺の  $KSTR'$  の係数は、気筒における入出力の関係 (比) を表しており、言い換えれば、気筒間の定常的な空燃比のばらつき (または空燃比のずれ) を表している。

#### 【0057】

したがって、本実施形態では、モデルパラメータベクトル  $\theta_i$  が前述した図 5 の式 (21) のように定義されている場合において、気筒間の空燃比のばらつきを表すばらつき係数  $AFOFT_i$  (ばらつきパラメータ) を、図 6 に示す式 (30) のように定義する。さらに、このばらつき係数  $AFOFT_i$  を、TDC 信号の発生タイミングに同期してオーバーサンプリングするとともに、その移動平均値  $AFOFTAVE$  (所定の目標値、ばらつきパラメータの平均値) を算出する。すなわち、この移動平均値  $AFOFTAVE$  は、図 6 の式 (31) により算出される。なお、この式 (31) において、本実施形態では、気筒数  $mc = 4$  となる。

#### 【0058】

さらに、オーバーサンプリングしたばらつき係数  $AFOFT_i(n)$  を移動平均値  $AFOFTAVE$  に収束させるように、ばらつき補正係数  $KAF OF T_i$  を I-PD 制御 (比例・微分先行型 PID 制御) アルゴリズムにより気筒毎に算出する。この I-PD 制御アルゴリズムは、図 6 に示す式 (32), (33) のよ

うになる。なお、式(33)の $e(n)$ は、気筒間空燃比のばらつき誤差を表す。このように、I-PD制御アルゴリズムによりばらつき補正係数 $KAFOT_i$ を算出する理由は、ばらつき係数 $AFOFT_i(n)$ の移動平均値 $AFOFT_{AVE}$ への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないようにするためである。以上の式(30)～(33)に示すアルゴリズムにより、ばらつき補正係数算出部23aでは、気筒毎のばらつき補正係数 $KAFOT_i$ が算出される。

#### 【0059】

次に、学習値算出部23bにおける、ばらつき補正係数 $KAFOT_i$ の学習値 $KAFOT\_LS_i$ を算出するアルゴリズムについて説明する。上記ばらつき補正係数 $KAFOT_i$ は、エンジン3の運転状態の影響を受けやすいものであり、エンジン3の運転状態が変化すると、それに応じて変化する。図7(a)は、エンジン3の運転状態を表す第1運転状態パラメータとしての排気ガスボリューム $ESV(n)$ とばらつき補正係数 $KAFOT_i(n)$ との関係を示している。この排気ガスボリューム $ESV(n)$ は、空間速度の推定値であり、図8の式(34)により算出される。なお、同式(34)において、 $SVPR$ は、エンジン3の排気量によって予め決定される所定の係数である。

#### 【0060】

図7(a)を参照すると、ばらつき補正係数 $KAFOT_i(n)$ においては、これを従属変数とし、排気ガスボリューム $ESV(n)$ を独立変数とする1次式により、ばらつき補正係数 $KAFOT_i(n)$ の近似値すなわち推定値を算出できることが判る(図7(b)参照)。したがって、学習値算出部23bでは、ばらつき補正係数の学習値 $KAFOT\_LS_i(n)$ を、図8の式(35)に示す回帰式により算出される推定値として定義するとともに、その回帰係数 $AFOFT\_LS_i$ および定数項 $BAFOFT\_LS_i$ のベクトル(以下「回帰係数ベクトル」という) $\theta AFOFT\_LS_i(n)$ が、図8の式(36)～(42)に示す逐次型最小2乗法により算出される。

#### 【0061】

この式(36)において、 $KQ_i(n)$ はゲイン係数のベクトルを、 $Eafi(n)$ は誤差をそれぞれ表している。また、この誤差 $Eafi(n)$ は、図8の式

(38) により算出される。さらに、上記ゲイン係数のベクトル  $KQ_i(n)$  は、図8の式(41)により算出され、この式(41)の  $Q_i(n)$  は、図8の式(42)で定義される2次の正方行列である。

#### 【0062】

また、学習値  $KAFOT\_LS_i(n)$  は、具体的には、図8の式(43)により算出される。なお、後述するように、エンジン3が極端な運転状態または運転環境にあるときには、以上の逐次型最小2乗法による回帰係数  $AFOFT\_LS_i$  および定数項  $BAFOFT\_LS_i$  の算出は回避され、その回帰係数ベクトルの前回値  $\theta AFOFT\_LS_i(n-1)$  が、学習値  $KAFOT\_LS_i(n)$  の算出において、今回値  $\theta AFOFT\_LS_i(n)$  として使用される。

#### 【0063】

以上の式(34)、(36)～(43)に示すアルゴリズムにより、学習値算出部23bでは、学習値  $KAFOT\_LS_i(n)$  は、これとばらつき補正係数  $KAFOT_i(n)$  との積が、学習値  $KAFOT\_LS_i(n)$  に収束するように算出される。これにより、基本燃料噴射量  $TIBS$  に乗算される、学習値  $KAFOT\_LS_i(n)$  とばらつき補正係数  $KAFOT_i(n)$  との積のハンチングを抑制することができる。

#### 【0064】

以下、ECU2により実行される空燃比制御を含む燃料噴射制御処理について、図9～13を参照しながら説明する。なお、以下の説明では、今回値であることを示す記号  $(k)$ 、 $(n)$  を適宜、省略する。図9は、この制御処理のメインルーチンを示しており、本処理は、TDC信号の入力に同期して割り込み実行される。この処理では、以下に述べるように、最終燃料噴射量  $TOUT_i$  (気筒に供給される燃料量) が気筒毎に算出される。

#### 【0065】

まず、ステップ1 (図では「S1」と略す。以下同じ) において、前述した各種のセンサ10～19の出力を読み込むとともに、読み込んだデータをRAM内に記憶する。

#### 【0066】

次に、ステップ2に進み、基本燃料噴射量  $TIBS$  を算出する。この処理では、エンジン回転数  $NE$  および吸気管内絶対圧  $PBA$  に応じて、図示しないマップを検索することにより、基本燃料噴射量  $TIBS$  を算出する。

#### 【0067】

次いで、ステップ3に進み、総補正係数  $KTOTAL$  を算出する。この総補正係数  $KTOTAL$  は、各種の運転パラメータ（例えば吸気温度  $TA$  や、大気圧  $PA$ 、エンジン水温  $TW$ 、アクセル開度  $AP$ 、スロットル弁開度  $TH$  など）に応じて、各種のテーブルやマップを検索することで各種の補正係数を算出するとともに、これらの各種の補正係数を互いに乗算することにより、算出される。

#### 【0068】

次に、ステップ4に進み、目標空燃比  $KCMD$  を算出する。この目標空燃比  $KCMD$  の算出処理の内容は、ここでは図示しないが、特開 2000-179385 号公報に記載の制御手法と同様に実行される。すなわち、目標空燃比  $KCMD$  は、エンジン3の運転状態に応じて、スライディングモード制御処理またはマップ検索処理により、O2 センサ15の出力  $Vout$  が前記所定の目標値  $Vop$  に収束するように、算出される。

#### 【0069】

次いで、ステップ5に進み、補正目標空燃比  $KCMDM$  を算出する。この補正目標空燃比  $KCMDM$  は、空燃比  $A/F$  の変化による充填効率の変化を補償するためのものであり、上記ステップ4で算出された目標空燃比  $KCMD$  に応じて、図示しないテーブルを検索することにより算出される。

#### 【0070】

次に、ステップ6および7において、気筒毎のモデルパラメータベクトル  $\theta_i$  およびフィードバック補正係数  $KSTR$  をそれぞれ算出する。これらの算出処理については、後述する。

#### 【0071】

次いで、ステップ8および9において、気筒毎のばらつき補正係数  $KAF OF T_i$  およびその学習値  $KAF OF T\_LS_i$  をそれぞれ算出する。これらの算出処理については、後述する。

## 【0072】

次に、ステップ10に進み、以上のように算出した基本燃料噴射量  $TIBS$ 、総補正係数  $KTOTAL$ 、補正目標空燃比  $KCMDM$ 、フィードバック補正係数  $KSTR$ 、ばらつき補正係数  $KAFOT_i$  およびその学習値  $KAFOT\_LS_i$  を用い、下式(44)により、気筒毎の要求燃料噴射量  $TCYL_i$  を算出する。

## 【0073】

$$TCYL_i = TIBS \cdot KTOTAL \cdot KCMDM \cdot KSTR \cdot KAFOT_i \cdot KAFOT\_LS_i \quad \cdots \cdots (44)$$

## 【0074】

次いで、ステップ11に進み、気筒毎の要求燃料噴射量  $TCYL_i$  を付着補正することにより、気筒毎の最終燃料噴射量  $TOUT_i$  を算出する。この気筒毎の最終燃料噴射量  $TOUT_i$  は、具体的には、今回の燃焼サイクルでインジェクタ6から噴射された燃料が燃焼室の内壁面に付着する割合などを、エンジン3の運転状態に応じて算出し、そのように算出した割合に基づいて、気筒毎の要求燃料噴射量  $TCYL_i$  を補正することにより、算出される。

## 【0075】

次に、ステップ12に進み、以上のように算出した気筒毎の最終燃料噴射量  $TOUT_i$  に基づく駆動信号を、対応する気筒のインジェクタ6に出力した後、本処理を終了する。

## 【0076】

次に、図10を参照しながら、前記ステップ6の気筒毎のモデルパラメータベクトル  $\theta_i$  の算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ20において、各パラメータの添字「i」に相当する気筒番号値  $i$  の設定処理を実行する。

## 【0077】

この処理では、図示しないが、気筒番号値  $i$  が、RAMに記憶されている、前回ループで設定された気筒番号値  $i$  の前回値  $PRV_i$  に基づいて、以下のように設定される。具体的には、 $PRV_i = 1$  のときには  $i = 3$  に、 $PRV_i = 2$  のときには  $i = 1$  に、 $PRV_i = 3$  のときには  $i = 4$  に、 $PRV_i = 4$  のときには  $i$

= 2 にそれぞれに設定される。また、気筒番号値  $i$  の初期値は、値 1 に設定される。すなわち、気筒番号値  $i$  は、「 $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \dots$ 」の順に、繰り返し設定される。

#### 【0078】

次いで、ステップ 21 に進み、前述した図 5 の式 (24) により、KSTR および KACT のベクトル  $\xi_i$  を算出した後、ステップ 22 で、前述した図 5 の式 (23) により、KACT の同定値  $KACT\_HAT_i$  を算出する。

#### 【0079】

次に、ステップ 23 に進み、前述した図 5 の式 (22) により、同定誤差  $ide_i$  を算出した後、ステップ 24 で、前述した図 5 の式 (25) により、ゲイン係数のベクトル  $KP_i$  を算出する。次いで、ステップ 25 に進み、前述した図 5 の式 (20) により、モデルパラメータベクトル  $\theta_i$  を算出する。

#### 【0080】

次に、ステップ 26 に進み、RAM に記憶されている、前回以前の所定個数（本実施形態では 12 個）の検出空燃比 KACT の値を更新する。具体的には、RAM 内の KACT の各々の値を、燃料噴射制御における 1 制御サイクル分、古い値としてセットする（例えば、今回値  $KACT(n)$  を前回値  $KACT(n-1)$  として、前回値  $KACT(n-1)$  を前々回値  $KACT(n-2)$  としてそれぞれセットする）。

#### 【0081】

次いで、ステップ 27 に進み、RAM に記憶されている、所定個数（本実施形態では 12 個）の 1 番気筒 #1 のモデルパラメータベクトル  $\theta_1$  のオーバーサンプリング値  $\theta_{buf}$  を更新する。具体的には、上記ステップ 26 と同様に、RAM 内の  $\theta_{buf}$  の各々の値を、1 制御サイクル分、古い値としてセットする（例えば、今回値  $\theta_{buf}(n)$  を前回値  $\theta_{buf}(n-1)$  として、前回値  $\theta_{buf}(n-1)$  を前々回値  $\theta_{buf}(n-2)$  としてそれぞれセットする）。この後、本処理を終了する。

#### 【0082】

次に、図 11 を参照しながら、前記ステップ 7 のフィードバック補正係数 KS

TRの算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ40において、前述した図4の式(10)により、移動平均値 $\theta_{ave}$ を、上記ステップ27で更新されたオーバーサンプリング値 $\theta_{buf}$ に基づいて算出する。

#### 【0083】

次いで、ステップ41で、前述した図4の式(12)により、上記ステップ41で算出した移動平均値 $\theta_{ave}$ に基づき、フィードバック補正係数KSTRを算出する。

#### 【0084】

次に、ステップ42に進み、RAMに記憶されている、前回以前の所定個数（本実施形態では12個）のフィードバック補正係数KSTRの値を更新する。具体的には、RAM内のKSTRの各々の値を、1制御サイクル分、古い値としてセットする（例えば、今回値KSTR(n)を前回値KSTR(n-1)として、前回値KSTR(n-1)を前々回値KSTR(n-2)としてそれぞれセットする）。この後、本処理を終了する。

#### 【0085】

次に、図12を参照しながら、前記ステップ8のばらつき補正係数KAFOFT<sub>i</sub>の算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ50において、RAMに記憶されている、前回のループでのばらつき係数AFOFT<sub>i</sub>の算出値を、ばらつき係数の前回値PRVAFOFT<sub>i</sub>として設定する。

#### 【0086】

次に、ステップ51に進み、前述した図6の式(30)により、ばらつき係数AFOFT<sub>i</sub>を算出した後、ステップ52で、前述した図6の式(31)により、ばらつき係数の移動平均値AFOFTAVEを算出する。

#### 【0087】

次いで、ステップ53に進み、前述した図6の式(33)により、追従誤差eを算出した後、ステップ54で、追従誤差の積分値 $\Sigma e$ を算出する。次に、ステップ55に進み、上記ステップ51、54で算出したばらつき係数AFOFT<sub>i</sub>および追従誤差の積分値 $\Sigma e$ を用い、前述した図6の式(32)により、ばらつき補正係数KAFOFT<sub>i</sub>を算出した後、本処理を終了する。

## 【0088】

次に、図13を参照しながら、前記ステップ9におけるばらつき補正係数の学習値  $KAF OF T\_L S_i$  の算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ60において、前述した図8の式(34)により、排気ガスボリュウム  $ESV$  を算出する。

## 【0089】

次いで、ステップ61に進み、RAMに記憶されている、前回のループでの回帰係数ベクトル  $\theta AF OF T\_L S_i$  の算出値を、その前回値  $PRV \theta AF OF T\_L S_i [= \theta AF OF T\_L S_i (n-1)]$  として設定する。

## 【0090】

次に、ステップ62に進み、前記図8の式(43)により、学習値  $KAF OF T\_L S_i$  を算出する。この後、ステップ63に進み、下記の5つの条件(A)～(E)がいずれも成立しているか否かを判別する。

(A) エンジン水温  $TW$  が所定の下限值  $TWA OF L$  より高くかつ所定の上限値  $TWA OF H$  よりも低いこと。

(B) 吸気温  $TA$  が所定の下限值  $TA A OF L$  より高くかつ所定の上限値  $TA A OF H$  よりも低いこと。

(C) エンジン回転数  $NE$  が所定の下限值  $NE A OF L$  より高くかつ所定の上限値  $NE A OF H$  よりも低いこと。

(D) 吸気管内絶対圧  $PBA$  が所定の下限值  $PBA OF L$  より高くかつ所定の上限値  $PBA OF H$  よりも低いこと。

(E) 車速  $VP$  が所定の下限值  $VP A OF L$  より高くかつ所定の上限値  $VP A OF H$  よりも低いこと。

## 【0091】

以上の5つの条件(A)～(E)がいずれも成立しているときには、逐次型最小2乗法により、回帰係数ベクトル  $\theta AF OF T\_L S_i$  を算出すべき運転状態にあるとして、ステップ64に進み、前述した図8の式(40)により、排気ガスボリュウムのベクトル  $Z$  を算出する。

## 【0092】



次に、ステップ 65 に進み、前述した図 8 の式 (38) により、誤差  $E_{af_i}$  を算出した後、ステップ 66 に進み、RAM に記憶されている、前回のループでの正方行列の次回値  $NEXQ_i [= Q_i (n+1)]$  の算出値を、その今回値  $Q_i$  として設定する。

#### 【0093】

次いで、ステップ 67 に進み、前述した図 8 の式 (41) により、ゲイン係数のベクトル  $KQ_i$  を算出した後、ステップ 68 に進み、前述した図 8 の式 (36) により、回帰係数ベクトル  $\theta AF OF T\_L S_i$  を算出する。次に、ステップ 69 に進み、前述した図 8 の式 (42) により、正方行列の次回値  $NEXQ_i [= Q_i (n+1)]$  を算出した後、本処理を終了する。

#### 【0094】

一方、前記ステップ 63 の判別結果が NO で、前記 5 つの条件 (A) ~ (E) の少なくとも 1 つが成立していないときには、ステップ 70 に進み、前記ステップ 61 で設定した回帰係数ベクトルの前回値  $PRV \theta AF OF T\_L S_i$  を、今回値  $\theta AF OF T\_L S_i$  に設定した後、本処理を終了する。これにより、例えば次のループでのステップ 61 の処理において、回帰係数ベクトルの前回値  $PRV \theta AF OF T\_L S_i$  として、今回のループでステップ 64 ~ 69 の逐次型最小 2 乗法により算出された値が用いられる。

#### 【0095】

次に、図 14 および図 15 を参照しながら、以上の空燃比制御装置 1 により空燃比を制御した場合の動作について説明する。図 14 は、本実施形態の空燃比制御装置 1 により空燃比を制御した場合を示しており、より具体的には、STR 22 により、検出空燃比  $KACT$  が値 1 (理論空燃比に相当する当量比) になるように制御している場合において、適応オブザーバ 23 を停止状態から作動させたとき、すなわち、適応オブザーバ 23 により、ばらつき補正係数  $KAF OF T$  および学習値  $KAF OF T\_L S$  の算出を開始したときの動作例を示している。

#### 【0096】

また、図 15 は、比較のために、学習値  $KAF OF T\_L S$  を、前述した式 (32), (33) の I-PD 制御アルゴリズムに代えて、通常の PID 制御アル

ゴリズム（図示せず）により算出した場合の動作の比較例を示している。また、両図において、 $KACT_1 \sim 4$ の値はそれぞれ、1番～4番気筒#1～#4から排出された、互いに混じり合っていない状態の排気ガス中の空燃比（当量比換算値）を表しており、具体的には、4つの測定用のLAFセンサ（図示せず）を、エキゾーストマニホールド7aの気筒#1～#4の排気ポートの直後の部分に追加して設けるとともに、これらのLAFセンサの出力から算出される。

#### 【0097】

図14に示すように、本実施形態の動作例では、適応オブザーバ23が停止されているときには、各気筒から排出された排気ガスの空燃比を表す $KACT_1 \sim 4$ が不安定な状態となり、その影響で、検出空燃比 $KACT$ も若干、不安定な状態となる。しかし、適応オブザーバ23が作動すると（時刻 $t_1$ ）、若干の時間が経過した後、 $KACT_1 \sim 4$ がいずれも値1（理論空燃比に相当する当量比）に収束し、それに伴って、検出空燃比 $KACT$ も値1に収束していることが判る。すなわち、気筒間の空燃比のばらつきが適切に補正されていることが判る。また、ばらつき補正係数および学習値の積 $KAF OF T_i \cdot KAF OF T\_LS_i$ （ $i = 1 \sim 4$ ）の値も安定していることが判る。

#### 【0098】

これに対して、図15の比較例では、適応オブザーバ23が作動した時点（時刻 $t_2$ ）から時間が経過しても、 $KACT_1 \sim 4$ がいずれも値1になかなか収束せず、それに伴い、検出空燃比 $KACT$ も値1になかなか収束しないことが判る。これに加えて、ばらつき補正係数および学習値の積 $KAF OF T_i \cdot KAF OF T\_LS_i$ の値もなかなか安定しないことが判る。すなわち、本実施形態のように、I-PD制御アルゴリズムを用いることにより、通常のPID制御アルゴリズムを用いた場合と比べて、気筒間の空燃比のばらつきを迅速かつ適切に補正できることが判る。これは、I-PD制御アルゴリズムの方が、PID制御アルゴリズムよりも、ばらつき係数 $AFOFT$ の移動平均値 $AFOFTAVE$ への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないように、学習値 $KAF OF T\_LS$ を算出できることによる。

#### 【0099】

以上のように、本実施形態の空燃比制御装置 1 によれば、STR 22 により、検出空燃比 KACT が目標空燃比 KCMD に収束するように、フィードバック補正係数 KSTR が算出される。また、適応オブザーバ 23 により、気筒間の空燃比のばらつきを表すばらつき係数 AFOT<sub>i</sub> が移動平均値 AFOTAVE に収束するように、ばらつき補正係数 KAFOT<sub>i</sub> が算出され、その学習値 KAFOT\_\_LS<sub>i</sub> が算出される。そして、算出されたフィードバック補正係数 KSTR、ばらつき補正係数 KAFOT<sub>i</sub> および学習値 KAFOT\_\_LS<sub>i</sub> によって、基本燃料噴射量 TIBS が補正されることにより、気筒毎の最終燃料噴射量 TOUT<sub>i</sub> が算出される。

#### 【0100】

この適応オブザーバ 23 では、ばらつき係数 AFOT<sub>i</sub> が、フィードバック補正係数 KSTR および検出空燃比 KACT を入出力とするモデル [式 (1)] に基づいて算出されるとともに、オンボード同定器 22a により、モデルのモデルパラメータベクトル  $\theta_i$  が同定されるので、ばらつき係数 AFOT<sub>i</sub> を、リアルタイムで同定されたモデルパラメータベクトル  $\theta_i$  に基づいて算出することができる。それにより、各気筒での燃料付着による検出空燃比 KACT への各気筒の寄与度の変化、LAF センサ 14 の応答ばらつきおよび経年変化などによって、制御対象の動特性が変化したときでも、従来と異なり、制御対象の動特性の変化をモデルに反映させながら、気筒間の空燃比のばらつきを補正するように、気筒毎の最終燃料噴射量 TOUT<sub>i</sub> を算出することができる。その結果、実施形態のように、複雑な排気レイアウトを有するエンジン 3 の空燃比を制御する場合でも、ロバスト性の高い空燃比制御を実現することができ、良好な触媒浄化率を確保することができる。

#### 【0101】

また、適応オブザーバ 23 では、ばらつき補正係数 KAFOT<sub>i</sub> が I-PD 制御アルゴリズムにより算出されるので、ばらつき係数 AFOT<sub>i</sub> (n) の移動平均値 AFOTAVE への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないように、ばらつき補正係数 KAFOT<sub>i</sub> を算出することができる。これより、各気筒の空燃比の挙動が振動的になるのを回避しながら、気筒間の空燃比のば

らつきを補正できる。さらに、ばらつき補正係数 $KAFOT_i$ が、ばらつき係数 $AFOFT_i$ を移動平均値 $AFOFTAVE$ に収束させるように算出されるので、STR22による空燃比制御に干渉することなく、気筒間の空燃比のばらつきを補正できる。

#### 【0102】

さらに、適応オブザーバ23では、ばらつき補正係数 $KAFOT_i$ の学習値 $KAFOT\_LS_i$ が、排気ガスボリューム $ESV$ を独立変数とする回帰式〔式(43)〕により算出されるとともに、この回帰式の回帰係数 $AFOFT\_LS_i(n)$ および定数項 $BAFOFT\_LS_i(n)$ のベクトルである回帰係数ベクトル $\theta AFOFT\_LS_i(n)$ が、逐次型最小2乗法により算出されるので、気筒間の空燃比のばらつき状態が、エンジン3の運転状態の変化に伴って変化したときでも、それに応じて補正された値として、気筒毎の最終燃料噴射量 $TOUT_i$ を算出することができる。それにより、エンジン3が過渡運転状態にあるときでも、気筒間の空燃比のばらつき状態の変化を補償しながら空燃比を制御することができる。

#### 【0103】

また、適応オブザーバ23では、前述した(A)～(E)の5つの条件の少なくとも一つが成立していないときには、逐次型最小2乗法による回帰係数ベクトル $\theta AFOFT\_LS_i$ の算出が実行されず、前回以前において5つの条件が成立していたときの算出値、すなわち安定した運転状態にあったときのばらつき補正係数 $KAFOT$ に基づいて算出した値が用いられるので、エンジン3が不安定な運転状態、または極端な運転環境にあるときでも、それらの影響を回避しながら、学習値 $KAFOT\_LS_i$ を適切に算出でき、それにより、気筒間の空燃比のばらつきを適切に補正することができる。以上により、触媒浄化率をさらに向上させることができる。

#### 【0104】

一方、STR22では、STRコントローラ22bにより、1つのフィードバック補正係数 $KSTR$ が算出され、これにより全気筒への基本燃料噴射量 $TIBS$ が補正されるので、気筒間の空燃比のばらつき補正の制御に干渉するのを回避

しながら、検出空燃比  $KACT$  が目標空燃比  $KCMD$  になるように、空燃比制御を実行することができ、触媒浄化率をより一層、向上させることができる。

#### 【0105】

さらに、オンボード同定器 22a において、固定ゲイン法 [式 (20) ~ (26)] によりモデルパラメータベクトル  $\theta_i$  を同定しているので、演算時間を短縮でき、CPU を含む ECU 2 の小型化および低コスト化を達成できる。また、固定ゲイン法において、忘却ベクトル  $\sigma_f$  を用いているので、エンジン 3 が、クルーズ走行状態などの定常運転状態にあるときでも、モデルパラメータベクトル  $\theta_i$  がドリフトするのを回避でき、これを適切に算出できる。

#### 【0106】

なお、気筒毎の学習値  $KAFOT\_LS_i$  の算出に用いる回帰式は、実施形態の 1 次式に限らず、 $n$  次式 ( $n$  は 2 以上の整数) でもよい。そのようにした場合でも、 $n$  次式の回帰係数および定数項を逐次型最小 2 乗法で算出することにより、実施形態と同様の作用効果を得ることができる。

#### 【0107】

さらに、実施形態は、学習補正值  $KOBSV\_LS_i$  を、排気ガスボリューム  $ESV$  に基づき回帰式により算出する場合において、その回帰係数  $AFOFT\_LS_i$  および定数項  $BAFOFT\_LS_i$  を逐次型最小 2 乗法で算出した例であるが、学習補正值  $KOBSV\_LS_i$  を算出する手法はこれに限らないことは言うまでもない。例えば、回帰式の回帰係数  $AFOFT\_LS_i$  および定数項  $BAFOFT\_LS_i$  と排気ガスボリューム  $ESV$  との関係を予め設定したテーブルを準備し、このテーブルを、排気ガスボリューム  $ESV$  に応じて検索することにより、2 つの値  $AFOFT\_LS_i$ ,  $BAFOFT\_LS_i$  を算出し、それにより、学習補正值  $KOBSV\_LS_i$  を算出してもよい。このようにすれば、学習補正值  $KOBSV\_LS_i$  の演算時間を短縮することができ、ECU 2 の演算負荷を低減することができる。

#### 【0108】

また、実施形態は、ばらつき係数  $AFOFT_i$  をその移動平均値  $AFOFTA$  に収束させるために、I-PD 制御アルゴリズムにより、ばらつき補正係数

$KAF OF T_i$ を算出した例であるが、制御アルゴリズムはこれに限らず、他の制御アルゴリズムにより、ばらつき係数 $AF OF T_i$ をその移動平均値 $AF OF T AVE$ に収束させるように、ばらつき補正係数 $KAF OF T_i$ を算出してもよいことは言うまでもない。

#### 【0109】

例えば、I-PD制御アルゴリズムに代えて、図16の式(45)、(46)に示すI-P-D制御アルゴリズム(微分先行型PID制御アルゴリズム)を用いることにより、ばらつき補正係数 $KAF OF T_i$ を算出してもよく、また、同図の式(47)～(49)に示す応答指定型制御アルゴリズム(スライディングモード制御アルゴリズム、またはバックステッピング制御アルゴリズム)を用いることにより、ばらつき補正係数 $KAF OF T_i$ を算出してもよい。これらの制御アルゴリズムを用いた場合でも、実施形態のI-PD制御アルゴリズムを用いた場合と同様に、ばらつき係数 $AF OF T_i$ の移動平均値 $AF OF T AVE$ への収束挙動において、オーバーシュートが発生しないように、ばらつき補正係数 $KAF OF T_i$ を算出することができ、その結果、気筒間の空燃比のばらつきを迅速かつ適切に補正できる。特に、応答指定型制御アルゴリズムを用いた場合には、指定した収束挙動で気筒間の空燃比のばらつきが収束するように、ばらつき補正係数 $KAF OF T_i$ を算出することができる。

#### 【0110】

さらに、ばらつき係数 $AF OF T_i$ を収束させる目標値としてのばらつき係数の平均値は、実施形態の移動平均値 $AF OF T AVE$ に限らず、加重平均値などでもよい。

#### 【0111】

さらに、基本燃料噴射量 $TIBS$ の算出手法は、吸気管内絶対圧 $PBA$ およびエンジン回転数 $NE$ に応じて、マップ検索することにより算出する実施形態の例に限らず、例えば、図1に2点鎖線で示すように、吸入空気量 $Gair$ を検出するエアフローセンサ30を吸気管4に設けるとともに、このエアフローセンサ30により検出された吸入空気量 $Gair$ に応じて、テーブル検索することにより、基本燃料噴射量 $TIBS$ を算出してもよい。

**【0112】**

また、実施形態は、本発明の空燃比制御装置 1 を 4 気筒のエンジン 3 に適用した例であるが、空燃比制御装置 1 はこれに限らず、4 気筒以外の複数気筒のエンジンにも適用可能であることは言うまでもない。さらに、実施形態では、STR 22 により、1 番気筒 # 1 のモデルパラメータベクトル  $\theta$  に基づいて、フィードバック補正係数 KSTR を算出したが、2 ~ 4 番気筒 # 2 ~ # 4 の 1 つのモデルパラメータベクトル  $\theta$  に基づいて、フィードバック補正係数 KSTR を算出してもよい。

**【0113】****【発明の効果】**

以上のように、本発明の内燃機関の空燃比制御装置によれば、複雑な排気系レイアウトを有する場合においても、複数の気筒間の空燃比のばらつきを適切かつ迅速に補正でき、ロバスト性の高い空燃比制御を実現できる。

**【図面の簡単な説明】****【図 1】**

本発明の一実施形態に係る空燃比制御装置およびこれを適用した内燃機関の概略構成を示す図である。

**【図 2】**

空燃比制御装置のブロック図である。

**【図 3】**

STR によるフィードバック補正係数 KSTR の算出アルゴリズムを説明するための数式を示す図である。

**【図 4】**

図 3 の算出アルゴリズムの変形例の数式を示す図である。

**【図 5】**

実施形態の STR によるフィードバック補正係数 KSTR の算出アルゴリズムの数式を示す図である。

**【図 6】**

適応オブザーバによるばらつき補正係数 KAFOT の算出アルゴリズムを説

明するための数式を示す図である。

【図 7】

(a) 排気ガスボリューム  $ESV$  とばらつき補正係数  $KAFOT$  の関係を示す図と (b) 排気ガスボリューム  $ESV$  と、ばらつき補正係数  $KAFOT$  およびその学習値  $KAFOT\_LS$  との関係を示す図である。

【図 8】

適応オブザーバによるばらつき補正係数の学習値  $KAFOT\_LS$  の算出アルゴリズムを説明するための数式を示す図である。

【図 9】

空燃比制御処理を含む燃料噴射制御処理を示すフローチャートである。

【図 10】

図 9 のステップ 6 におけるモデルパラメータベクトル  $\theta_i$  の算出処理を示すフローチャートである。

【図 11】

図 9 のステップ 7 における  $KSTR$  算出処理を示すフローチャートである。

【図 12】

図 9 のステップ 8 におけるばらつき補正係数  $KAFOT_i$  の算出処理を示すフローチャートである。

【図 13】

図 9 のステップ 9 におけるばらつき補正係数の学習値  $KAFOT\_LS_i$  算出処理を示すフローチャートである。

【図 14】

空燃比制御装置による空燃比制御の動作例を示すタイミングチャートである。

【図 15】

空燃比制御の比較例を示すタイミングチャートである。

【図 16】

適応オブザーバによるばらつき補正係数  $KAFOT$  の算出アルゴリズムの他の例を示す図である。

【符号の説明】



- 1 空燃比制御装置
- 2 ECU (燃料量決定手段、補正パラメータ決定手段、第1燃料量補正手段、空燃比パラメータ検出手段、ばらつきパラメータ算出手段、同定手段、第2燃料量補正手段、目標値設定手段、第1運転状態パラメータ検出手段、ばらつき補正係数算出手段、学習値算出手段、燃料量補正手段、第2運転状態パラメータ検出手段、運転環境パラメータ検出手段)
- 3 内燃機関
- #1~#4 1~4番気筒 (複数の気筒)
- 7 排気管 (排気通路)
- 11 吸気管内絶対圧センサ (第1および第2運転状態パラメータ検出手段)
- 12 水温センサ (第2運転状態パラメータ検出手段)
- 13 クランク角センサ (第1および第2運転状態パラメータ検出手段)
- 14 LAFセンサ (空燃比パラメータ検出手段)
- 18 吸気温センサ (運転環境パラメータ検出手段)
- 19 車速センサ (運転環境パラメータ検出手段)
- 22 STR (補正パラメータ決定手段)
- 22a オンボード同定器 (同定手段)
- 23 適応オブザーバ (ばらつきパラメータ算出手段、ばらつき補正係数算出手段、学習値算出手段)

TOUT<sub>i</sub> 最終燃料噴射量 (気筒に供給される燃料量)

KSTR フィードバック補正係数 (補正パラメータ)

KACT 検出空燃比 (空燃比パラメータ)

KCMD 目標空燃比 (空燃比目標値)

b0 モデルパラメータ

r1, r2, r3 モデルパラメータ

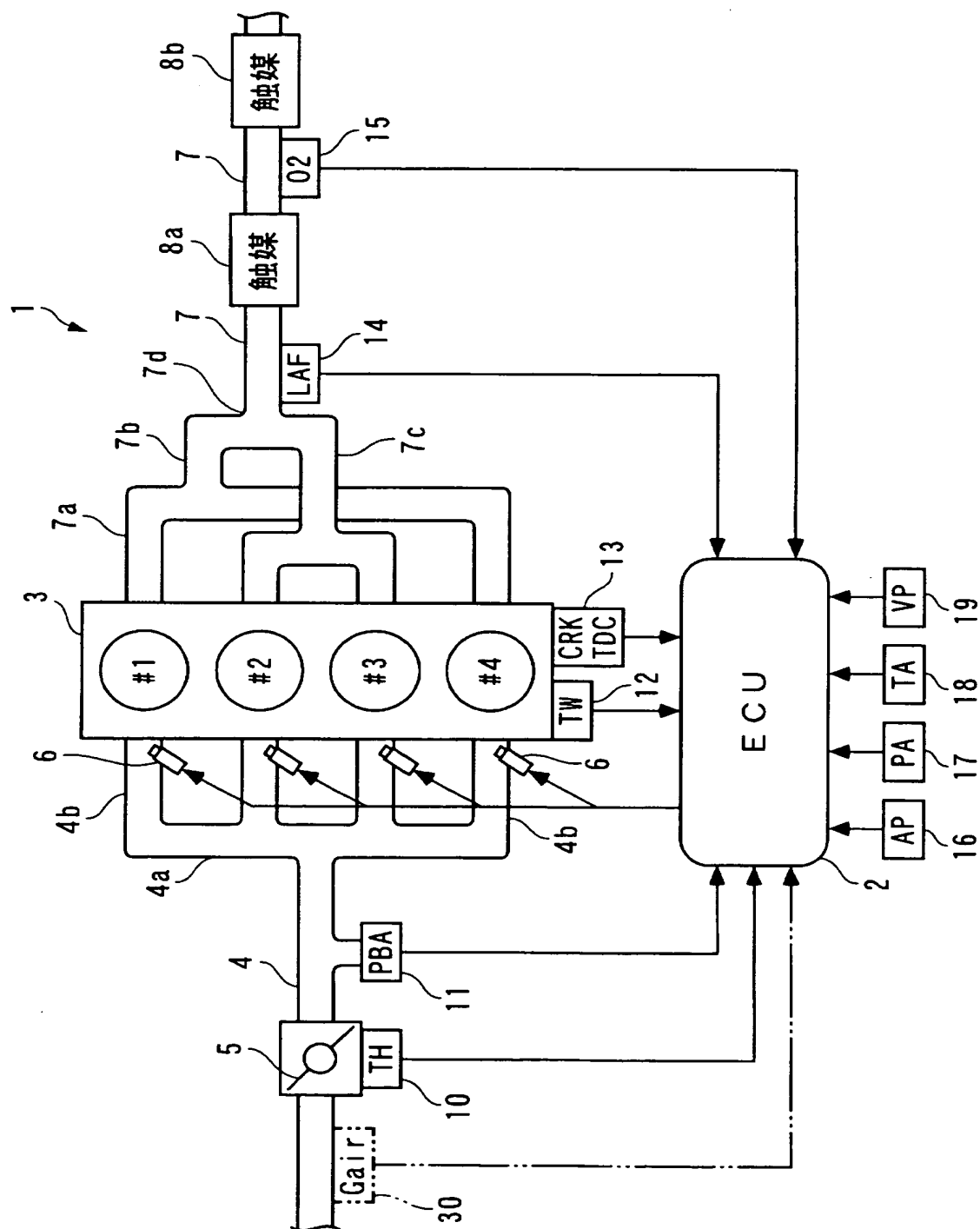
s0 モデルパラメータ

AFOFT<sub>i</sub> ばらつき係数 (ばらつきパラメータ)

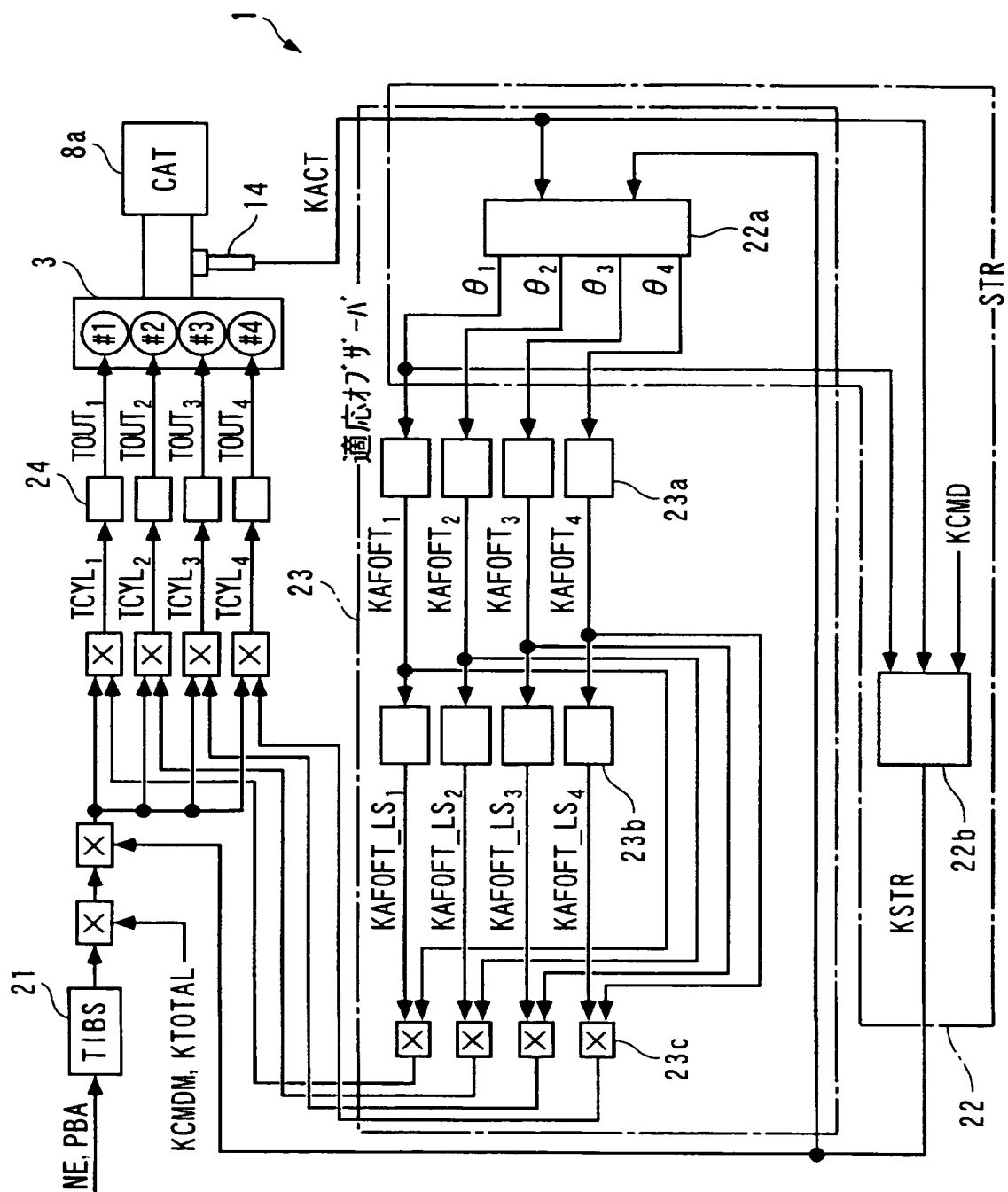
AFOFTAVE	移動平均値（所定の目標値、ばらつきパラメータの平均値）
KAFOFT <sub>i</sub>	ばらつき補正係数
KAFOFT_LS <sub>i</sub>	ばらつき補正係数の学習値
AAFOFT_LS <sub>i</sub>	回帰係数
BAFOFT_LS <sub>i</sub>	定数項
ESV	排気ガスボリューム（第 1 運転状態パラメータ）
PBA	吸気管内絶対圧（第 2 運転状態パラメータ）
TW	エンジン水温（第 2 運転状態パラメータ）
NE	エンジン回転数（第 2 運転状態パラメータ）
TA	吸気温（運転環境パラメータ）
VP	車速（運転環境パラメータ）

【書類名】 図面

【図 1】



【図 2】



【図 3】

$$\begin{aligned} \text{KACT}_i(k) = & b0_i(k) \cdot \text{KSTR}_i(k) + r1_i(k) \cdot \text{KSTR}_i(k-4) + r2_i(k) \cdot \text{KSTR}_i(k-5) \\ & + r3_i(k) \cdot \text{KSTR}_i(k-6) + s0_i(k) \cdot \text{KACT}_i(k-3) \quad \dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{KSTR}_i(k) = & \frac{1}{b0_i(k)} \cdot \left\{ \text{KCMD}_i(k) - r1_i(k) \cdot \text{KSTR}_i(k-1) - r2_i(k) \cdot \text{KSTR}_i(k-2) \right. \\ & \left. - r3_i(k) \cdot \text{KSTR}_i(k-3) - s0_i(k) \cdot \text{KACT}_i(k) \right\} \quad \dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\theta_i(k) = \theta_i(k-1) + \text{KP}_i(k) \cdot \text{ide}_i(k) \quad \dots\dots (3)$$

$$\theta_i(k)^T = [b0_i(k), r1_i(k), r2_i(k), r3_i(k), s0_i(k)] \quad \dots\dots (4)$$

$$\text{ide}_i(k) = \text{KACT}_i(k) - \text{KACT\_HAT}_i(k) \quad \dots\dots (5)$$

$$\text{KACT\_HAT}_i(k) = \theta_i(k-1)^T \cdot \zeta_i(k) \quad \dots\dots (6)$$

$$\begin{aligned} \zeta_i(k)^T = & [\text{KSTR}_i(k-3), \text{KSTR}_i(k-4), \text{KSTR}_i(k-5), \text{KSTR}_i(k-6), \text{KACT}_i(k-3)] \\ & \dots\dots (7) \end{aligned}$$

$$\text{KP}_i(k) = \frac{P_i(k) \cdot \zeta_i(k)}{1 + \zeta_i(k)^T \cdot P_i(k) \cdot \zeta_i(k)} \quad \dots\dots (8)$$

$$P_i(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left( I - \frac{\lambda_2 \cdot P_i(k) \cdot \zeta_i(k) \cdot \zeta_i(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \cdot \zeta_i(k)^T \cdot P_i(k) \cdot \zeta_i(k)} \right) P_i(k) \quad \dots\dots (9)$$

I : 単位行列  
 $\lambda_1, \lambda_2$  : 重みパラメータ

【図 4】

$$\theta_{ave}(n) = \frac{1}{m+1} \{ \theta_{buf}(n) + \dots + \theta_{buf}(n-m) \} \quad \dots\dots (10)$$

$$\theta_{ave}(n)^T = [b0_{ave}(n), r1_{ave}(n), r2_{ave}(n), r3_{ave}(n), s0_{ave}(n)] \quad \dots\dots (11)$$

$$KSTR(n) = \frac{1}{b0_{ave}(n)} \left\{ KCMD(n) - r1_{ave}(n)KSTR(n-4) - r2_{ave}(n)KSTR(n-8) - r3_{ave}(n)KSTR(n-12) - s0_{ave}(n)KACT(n) \right\} \quad \dots\dots (12)$$

$$\theta_i(k) = \theta_i(k-1) + KP_i(k) \cdot ide_i(k) \quad \dots\dots (13)$$

$$\theta_i(k)^T = [b0_i(k), r1_i(k), r2_i(k), r3_i(k), s0_i(k)] \quad \dots\dots (14)$$

$$ide_i(k) = KACT_i(k) - KACT\_HAT_i(k) \quad \dots\dots (15)$$

$$KACT\_HAT_i(k) = \theta_i(k-1)^T \cdot \zeta_i(k) \quad \dots\dots (16)$$

$$\begin{aligned} \zeta_i(k)^T &= [KSTR_i(k-3), KSTR_i(k-4), KSTR_i(k-5), KSTR_i(k-6), KACT_i(k-3)] \\ &= [KSTR_i(n-12), KSTR_i(n-16), KSTR_i(n-20), KSTR_i(n-24), KACT_i(n-12)] \end{aligned} \quad \dots\dots (17)$$

$$KP_i(k) = \frac{P_i(k) \cdot \zeta_i(k)}{1 + \zeta_i(k)^T \cdot P_i(k) \cdot \zeta_i(k)} \quad \dots\dots (18)$$

$$P_i(k+1) = \frac{1}{\lambda_1} \left( I - \frac{\lambda_2 \cdot P_i(k) \cdot \zeta_i(k) \cdot \zeta_i(k)^T}{\lambda_1 + \lambda_2 \cdot \zeta_i(k)^T \cdot P_i(k) \cdot \zeta_i(k)} \right) P_i(k) \quad \dots\dots (19)$$

I : 単位行列  
 $\lambda_1, \lambda_2$  : 重みパラメータ

【図 5】

$$\theta_i(k) = \sigma f \cdot \theta_i(k-1) + KP_i(k) \cdot ide_i(k) \quad \dots\dots (20)$$

$$\theta_i(k)^T = [b0_i(k), r1_i(k), r2_i(k), r3_i(k), s0_i(k)] \quad \dots\dots (21)$$

$$ide_i(k) = KACT_i(k) - KACT\_HAT_i(k) \quad \dots\dots (22)$$

$$KACT\_HAT_i(k) = \theta_i(k-1)^T \cdot \zeta_i(k) \quad \dots\dots (23)$$

$$\begin{aligned} \zeta_i(k)^T &= [KSTR_i(k-3), KSTR_i(k-4), KSTR_i(k-5), KSTR_i(k-6), KACT_i(k-3)] \\ &= [KSTR_i(n-12), KSTR_i(n-16), KSTR_i(n-20), KSTR_i(n-24), KACT_i(n-12)] \\ &\dots\dots (24) \end{aligned}$$

$$KP_i(k) = \frac{Pf \cdot \zeta_i(k)}{1 + \zeta_i(k)^T \cdot Pf \cdot \zeta_i(k)} \quad \dots\dots (25)$$

$Pf$ : 同定ゲイン (5列1行ベクトル)

$$\sigma f = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a \end{bmatrix} \quad (0 < a < 1) \quad \dots\dots (26)$$

$\sigma f$ : 忘却ベクトル

【図 6】

$$KACT' = b0_i(k) \cdot KSTR' + r1_i(k) \cdot KSTR' + r2_i(k) \cdot KSTR' + r3_i(k) \cdot KSTR' + s0_i(k) \cdot KACT' \quad \dots\dots (27)$$

$$[1 - s0_i(k)] KACT' = [b0_i(k) + r1_i(k) + r2_i(k) + r3_i(k)] KSTR' \quad \dots\dots (28)$$

$$KACT' = \frac{b0_i(k) + r1_i(k) + r2_i(k) + r3_i(k)}{1 - s0_i(k)} \cdot KSTR' \quad \dots\dots (29)$$

$$AFOFT_i(k) = \frac{b0_i(k) + r1_i(k) + r2_i(k) + r3_i(k)}{1 - s0_i(k)} \quad \dots\dots (30)$$

$$AFOFTAVE(n) = \frac{1}{mc} \cdot \sum_{i=1}^{mc} AFOFT_i(n) \quad \dots\dots (31)$$

mc : 気筒数

$$KAFOFT_i(n) = -GI \cdot \sum_{j=0}^n e(j) - FI \cdot AFOFT_i(n) - HI \cdot [AFOFT_i(n) - AFOFT_i(n-1)] \quad \dots\dots (32)$$

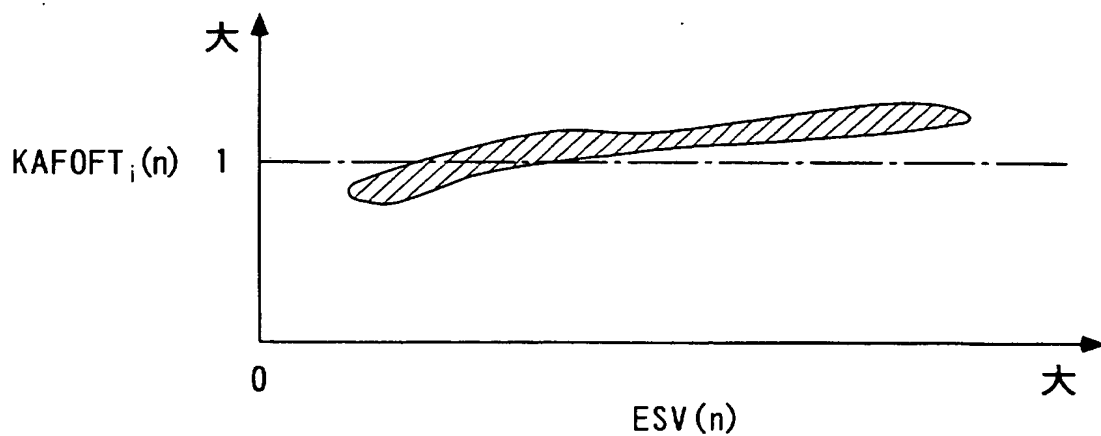
FI, GI, HI : フォードバックゲイン

$$e(n) = AFOFT_i(n) - AFOFTAVE(n) \quad \dots\dots (33)$$

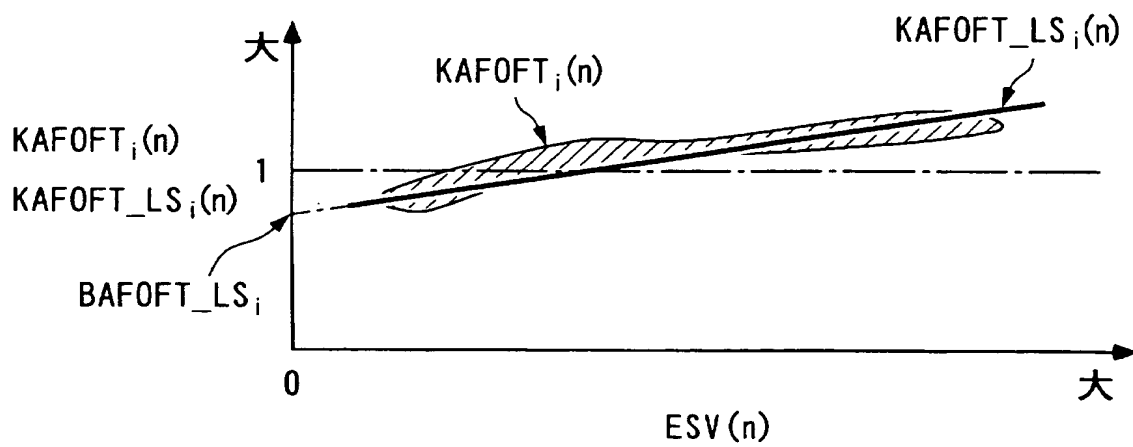


【図 7】

(a)



(b)



【図 8】

$$ESV(n) = \frac{NE(n)}{1500} \cdot PBA(n) \cdot SVPRA \quad \dots\dots (34)$$

$$KAFOFT\_LS_i(n) = AAF0FT\_LS_i \cdot ESV(n) + BAF0FT\_LS_i \quad \dots\dots (35)$$

$$\theta AFOFT\_LS_i(n) = \theta AFOFT\_LS_i(n-1) + KQ_i(n) \cdot Eaf_i(n) \quad \dots\dots (36)$$

$$\theta AFOFT\_LS_i(n)^T = [AAF0FT\_LS_i(n), BAF0FT\_LS_i(n)] \quad \dots\dots (37)$$

$$Eaf_i(n) = KAFOFT_i(n) \cdot KAFOFT\_LS_i(n) - \theta AFOFT\_LS_i(n-1)^T \cdot Z(n) \quad \dots\dots (38)$$

$$KAFOFT\_LS_i(n) = \theta AFOFT\_LS_i(n-1)^T \cdot Z(n) \quad \dots\dots (39)$$

$$Z(n)^T = [ESV(n), 1] \quad \dots\dots (40)$$

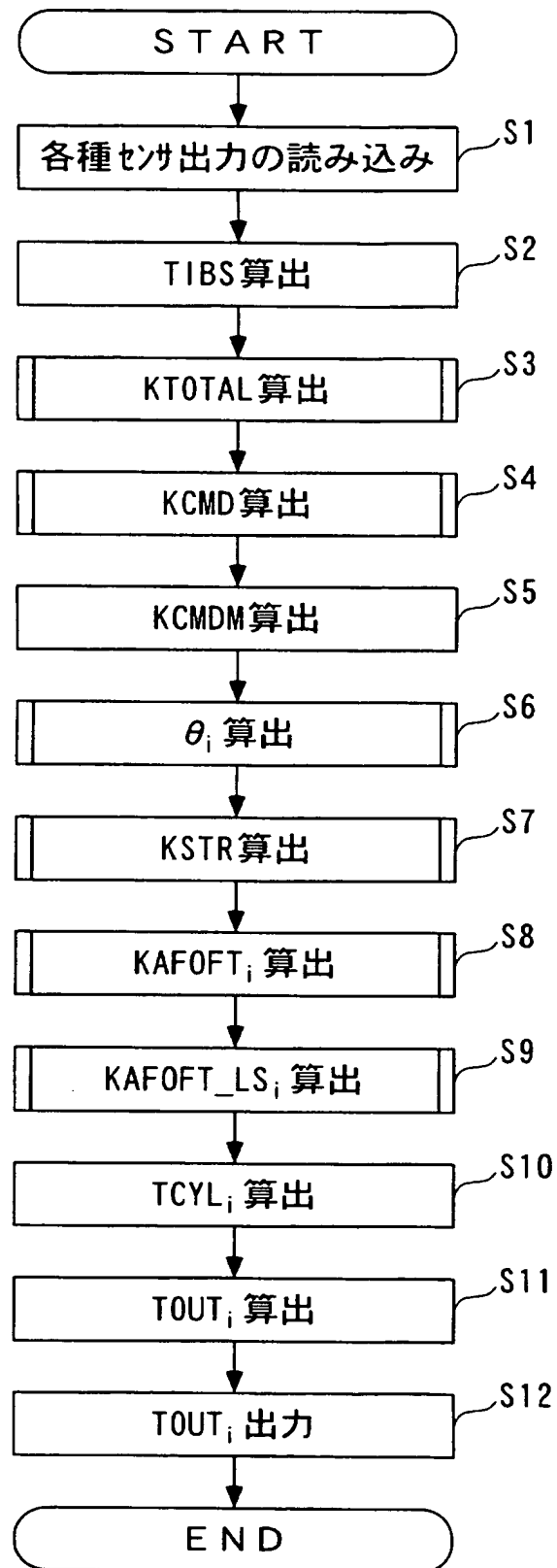
$$KQ_i(n) = \frac{Q_i(n) \cdot Z(n)}{1 + Z_i(n) \cdot Q_i(n) \cdot Z(n)} \quad \dots\dots (41)$$

$$Q_i(n+1) = \frac{1}{\lambda_1'} \cdot \left( I - \frac{\lambda_2' \cdot Q_i(n) \cdot Z(n)^T \cdot Z(n)}{\lambda_1' + \lambda_2' \cdot Z(n)^T \cdot Q_i(n) \cdot Z(n)} \right) \cdot Q_i(n) \quad \dots\dots (42)$$

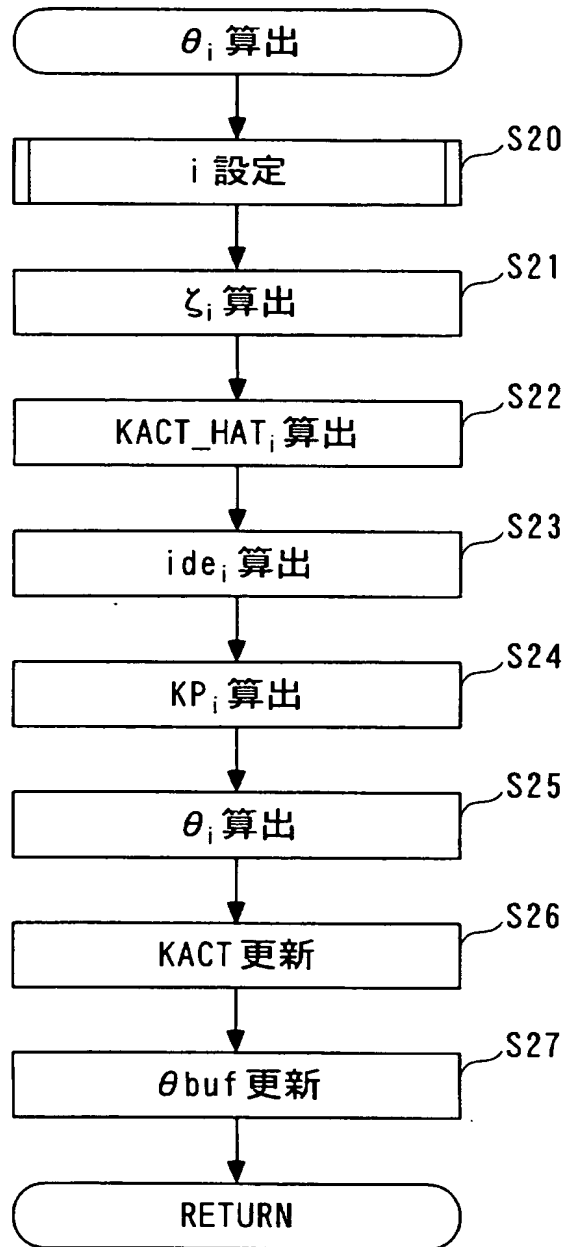
I : 単位行列  
 $\lambda_1', \lambda_2'$  : 重みパラメータ

$$\begin{aligned} KAFOFT\_LS_i(n) &= \theta AFOFT\_LS_i(n-1)^T \cdot Z(n) \\ &= AAF0FT\_LS_i(n-1) \cdot ESV(n) + BAF0FT\_LS_i(n-1) \end{aligned} \quad \dots\dots (43)$$

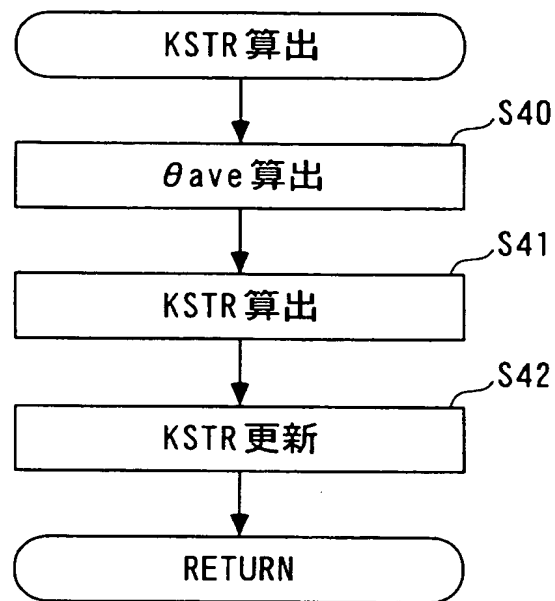
【図 9】



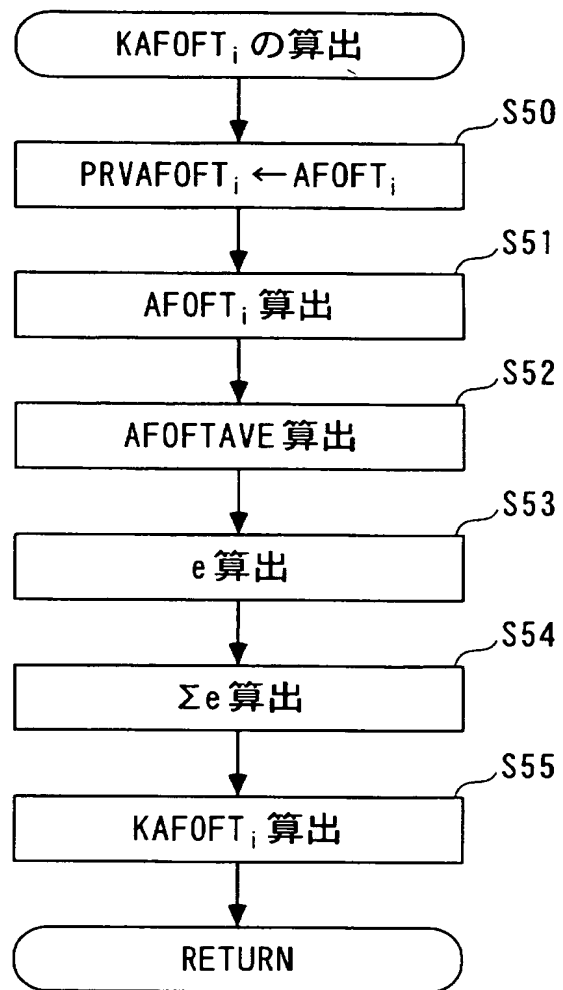
【図 10】



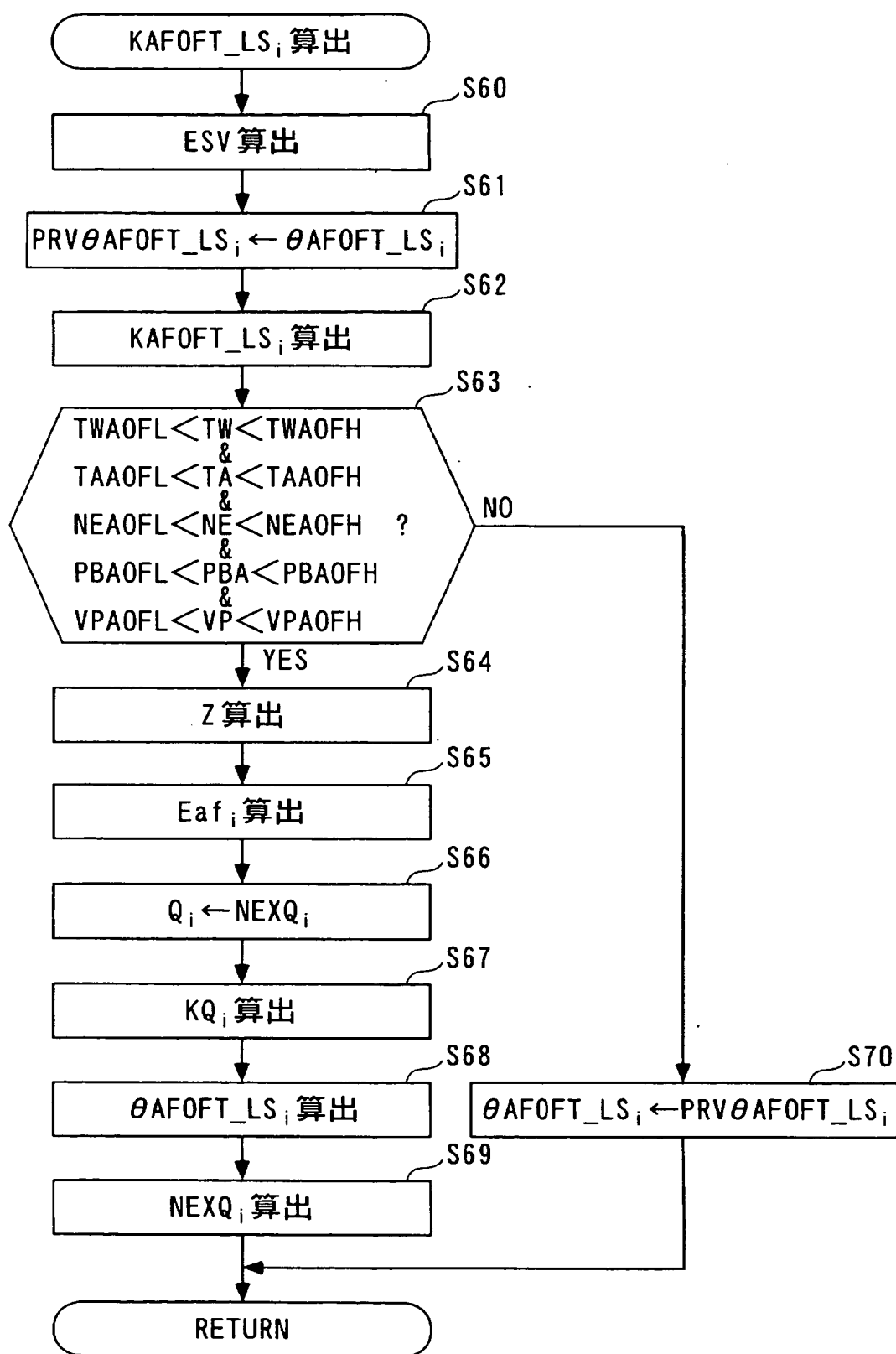
【図 11】



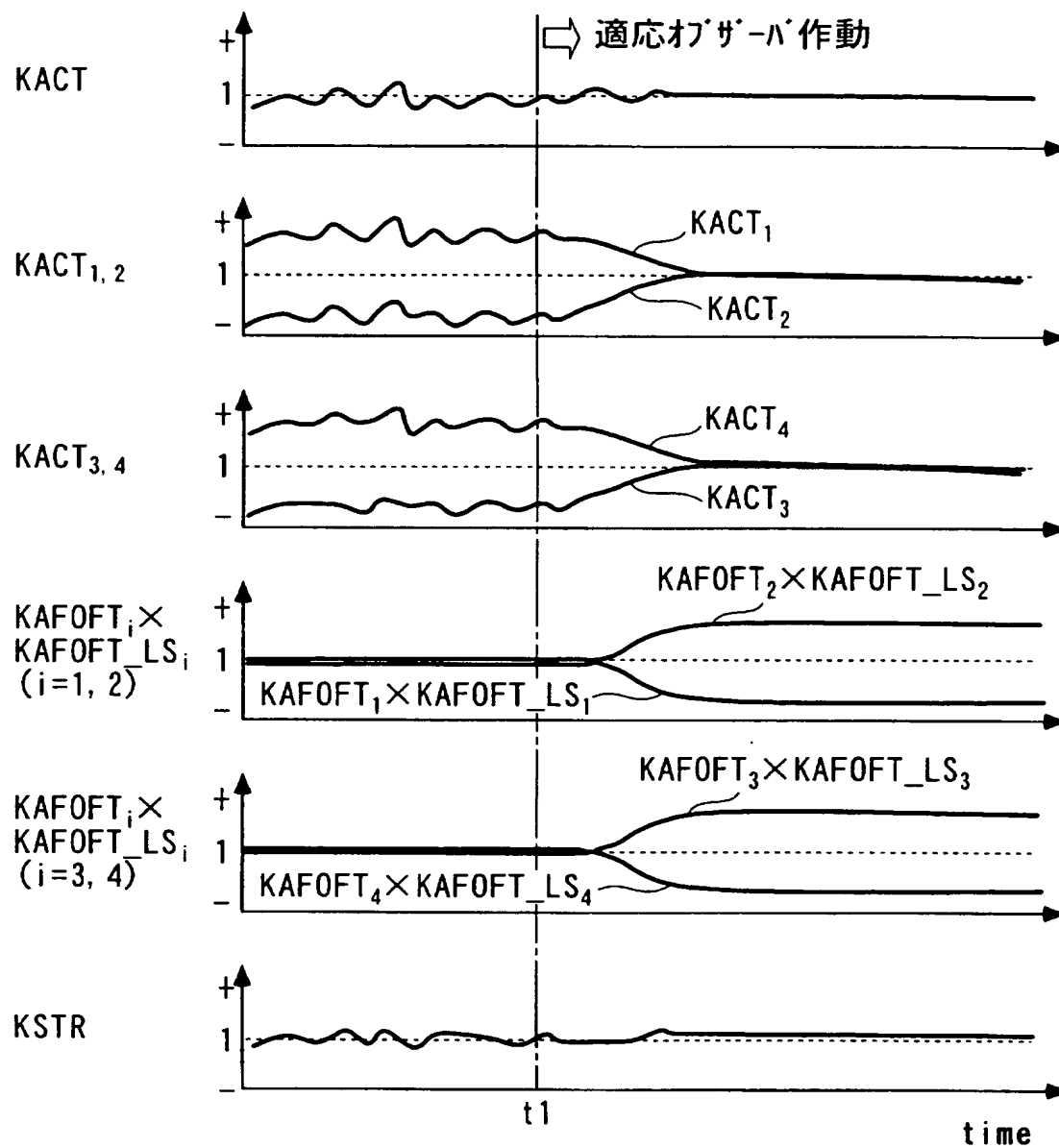
【図 12】



【図 13】

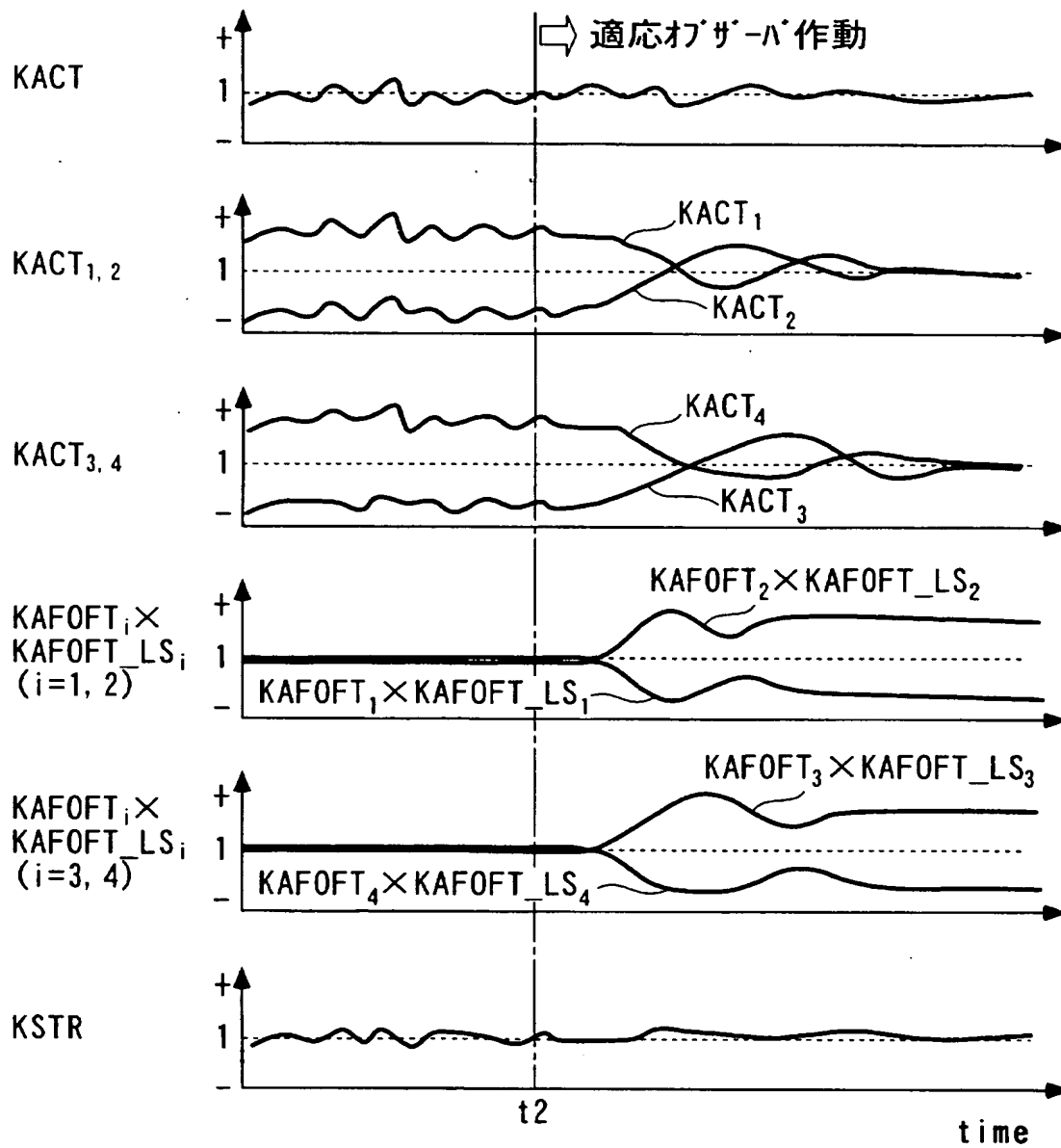


【図 14】





【図 15】



【図 1 6】

IP-D制御アルゴリズム

$$KAF0FT_i(n) = -GD \cdot \sum_{j=0}^n e(j) - FD \cdot e(n) - HD \cdot [AF0FT_i(n) - AF0FT_i(n-1)] \quad \dots\dots (45)$$

$$e(n) = AF0FT_i(n) - AF0FTAVE(n) \quad \dots\dots (46)$$

FD, GD, HD : フィードバックゲイン

応答指定型制御アルゴリズム

$$KAF0FT_i(n) = -FS \cdot \sigma(n) - GS \cdot \sum_{j=0}^n \sigma(j) - HS \cdot e(n) \quad \dots\dots (47)$$

$$e(n) = AF0FT_i(n) - AF0FTAVE(n) \quad \dots\dots (48)$$

$$\sigma(n) = e(n) + S \cdot e(n-1) \quad \dots\dots (49)$$

$\sigma(n)$  : 切換関数  
 FS, GS, HS : フィードバックゲイン  
 S : 切換関数設定パラメータ

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複雑な排気系レイアウトを有する場合においても、複数の気筒間の空燃比のばらつきを適切かつ迅速に補正でき、ロバスト性の高い空燃比制御を実現できる内燃機関の空燃比制御装置を提供する。

【解決手段】 1-4番気筒#1-4に供給される混合気の空燃比を制御する空燃比制御装置 1 のECU2は、フィードバック補正係数KSTRを決定し(ステップ7)、このKSTRおよび検出空燃比KACTを入出力とするモデルのモデルパラメータ $b_0, r_1, r_2, r_3, s_0$ に基づき、複数の気筒間の空燃比のばらつきを表すばらつき係数 $AFOFT_i$ を気筒毎に算出し(ステップ51)、モデルパラメータを同定し(ステップ27)、気筒毎のばらつき係数 $AFOFT_i$ が移動平均値 $AFOFTAVE$ に収束するように、基本燃料噴射量TIBSを補正し(ステップ9, 10)、気筒毎の最終燃料噴射量 $TOUT_i$ を算出する(ステップ12)。

【選択図】 図 9

特願 2 0 0 2 - 3 4 5 2 7 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 3 2 6 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 9 月 6 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区南青山二丁目 1 番 1 号

氏 名

本田技研工業株式会社